

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Osamu TSUBOI, et al.**

Group Art Unit: **Not Yet Assigned**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Examiner: **Not Yet Assigned**

Filed: **March 3, 2004**

For: **MICRO-OSCILLATION ELEMENT AND METHOD FOR DRIVING THE SAME**

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Date: March 3, 2004

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign applications is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 2003-292554, filed August 12, 2003

Japanese Appln. No. 2004-001440, filed January 6, 2004

In support of this claim, the requisite certified copies of said original foreign applications are filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copies.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, KRATZ, QUINTOS,
HANSON & BROOKS, LLP

William L. Brooks

William L. Brooks

Attorney for Applicants

Reg. No. 34,129

WLB/jaz
Atty. Docket No. **040090**
Suite 1000
1725 K Street, N.W.
Washington, D.C. 20006
(202) 659-2930



23850

PATENT TRADEMARK OFFICE

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 8 月 1 2 日
Date of Application:

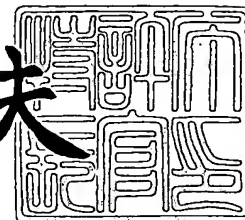
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 9 2 5 5 4
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 2 9 2 5 5 4]

出 願 人
Applicant(s): 富士通株式会社
 富士通メディアデバイス株式会社

2 0 0 4 年 1 月 2 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 1 8 8 0

【書類名】 特許願
【整理番号】 0395289
【提出日】 平成15年 8月12日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/00
G02B 26/08

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 壺井 修

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 高馬 悟覚

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 奥田 久雄

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 曾根田 弘光

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 ミイ シヤオユウ

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 上田 知史

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社
内
【氏名】 佐脇 一平

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2 富士通メディア
デバイス株式会社内
【氏名】 中村 義孝

【特許出願人】
【識別番号】 000005223
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【特許出願人】
【識別番号】 398067270
【氏名又は名称】 富士通メディアデバイス株式会社

【代理人】
【識別番号】 100086380
【弁理士】
【氏名又は名称】 吉田 稔

【選任した代理人】

【識別番号】 100103078

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 達也

【連絡先】 0 6 - 6 7 6 4 - 6 6 6 4

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 024198

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9807281

【包括委任状番号】 0103433

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

可動主部と、

第 1 フレームおよび第 2 フレームと、

前記可動主部および前記第 1 フレームを連結し、且つ、当該第 1 フレームに対する当該可動主部の第 1 回転動作における第 1 回転軸心を規定する、第 1 連結部と、

前記第 1 フレームおよび前記第 2 フレームを連結し、且つ、当該第 2 フレームに対する当該第 1 フレームおよび前記可動主部の第 2 回転動作における第 2 回転軸心を規定する、第 2 連結部と、

前記第 1 回転動作の駆動力を発生させるための第 1 駆動機構と、

前記第 2 回転動作の駆動力を発生させるための第 2 駆動機構と、を備え、

前記第 1 回転軸心および前記第 2 回転軸心は直交していない、マイクロ揺動素子。

【請求項 2】

可動部と、

フレームと、

前記可動部および前記フレームを連結し、且つ、当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する、連結部と、

前記回転軸心から相対的に遠い箇所に前記回転動作の駆動力を発生させるための第 1 駆動機構と、

前記回転軸心に相対的に近い箇所に前記回転動作の駆動力を発生させるための第 2 駆動機構と、を備える、マイクロ揺動素子。

【請求項 3】

前記第 1 駆動機構および／または前記第 2 駆動機構は、一組の櫛歯電極を含む、請求項 1 または 2 に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 4】

前記第 1 駆動機構および前記第 2 駆動機構は、共通の制御下で作動可能に構成されている、請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 5】

前記第 1 駆動機構および前記第 2 駆動機構は、電氣的に並列に接続されている、請求項 4 に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 6】

前記第 1 駆動機構および前記第 2 駆動機構は、電氣的に分離され、相互に独立した制御下で作動可能に構成されている、請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 7】

可動部と、

フレームと、

前記可動部および前記フレームを連結し、且つ、当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する、連結部と、

前記回転軸心までの距離が連続的に変化する箇所にわたって前記回転動作の駆動力を発生させるための駆動機構と、を備える、マイクロ揺動素子。

【請求項 8】

前記駆動機構は一組の櫛歯電極を含む、請求項 7 に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項 9】

可動部と、

フレームと、

前記可動部および前記フレームを連結し、且つ、当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する連結部と、

前記回転動作の駆動力を発生させるための第 1 櫛歯電極および第 2 櫛歯電極を含む駆動機構と、を備え、

前記第1歯電極および／または前記第2歯電極は、電氣的に分離された第1導体部および第2導体部ならびに当該第1および第2導体部の間の絶縁部が前記回転動作の方向に積層された構造を有する電極歯を備える、マイクロ揺動素子。

【請求項10】

可動部と、
フレームと、

前記可動部および前記フレームを連結し、且つ、当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する連結部と、

前記回転動作の駆動力を発生させるための第1歯電極および第2歯電極を含む駆動機構と、を備え、

前記第1歯電極は、電氣的に接続された第1導体部および第2導体部ならびに当該第1および第2導体部の間の絶縁部が前記回転動作の方向に積層された構造を有する電極歯を備え、

前記第2歯電極は、非駆動時には前記第1導体部に対向し且つ前記第2導体部に対向しない第3導体部からなる電極歯を備える、マイクロ揺動素子。

【請求項11】

前記第1導体部および前記第3導体部は、前記回転動作方向における長さが異なる、請求項10に記載のマイクロ揺動素子。

【請求項12】

前記歯電極を構成する前記一組の歯電極の少なくとも一方は、基部と、当該基部から延出する電極歯とを有し、当該電極歯は、前記基部側の端部から幅または厚さの漸減する部位を有する、請求項3、8、および9から11のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項13】

前記歯電極を構成する前記一組の歯電極の少なくとも一方は、基部と、当該基部から延出する電極歯とを有し、当該電極歯は、他方の歯電極に接近するにつれて幅が漸増する部位を有する、請求項3、8、および9から12のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項14】

前記第1連結部は、前記可動主部に近接するほど幅太な空隙部を有し、これと共に／或は、前記第2連結部は、前記第1フレームに接近するほど幅太な空隙部を有する、請求項1から6のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

【請求項15】

前記連結部は、前記可動部に近接するほど幅太な空隙部を有する、請求項7から11のいずれか1つに記載のマイクロ揺動素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】マイクロ揺動素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転変位可能な可動部を有する例えばマイクロミラー素子などのマイクロ揺動素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、様々な技術分野において、マイクロマシニング技術により形成される微小構造を有する素子の応用化が図られている。例えば光通信技術の分野においては、光反射機能を有する微小なマイクロミラー素子が注目されている。

【0003】

光通信においては、光ファイバを媒体として光信号が伝送され、また、光信号の伝送経路を或るファイバから他のファイバへと切換えるべく、一般に、いわゆる光スイッチング装置が使用される。良好な光通信を達成するうえで光スイッチング装置に求められる特性としては、切換え動作における、大容量性、高速性、高信頼性などが挙げられる。これらの観点より、光スイッチング装置としては、マイクロマシニング技術により作製されるマイクロミラー素子を組み込んだものに対する期待が高まっている。マイクロミラー素子によると、光スイッチング装置における入力側の光伝送路と出力側の光伝送路との間で、光信号を電気信号に変換せずに光信号のままでスイッチング処理を行うことができ、上掲の特性を得るうえで好適だからである。

【0004】

マイクロミラー素子は、光を反射するためのミラー面を備え、当該ミラー面の揺動により光の反射方向を変化させることができる。ミラー面を揺動するうえで静電力を利用する静電駆動型のマイクロミラー素子が、多くの装置で採用されている。静電駆動型マイクロミラー素子は、いわゆる表面マイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子と、いわゆるバルクマイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子との、大きく2つに類別することができる。

【0005】

表面マイクロマシニング技術では、基板上において、各構成部位に対応する材料薄膜を所望のパターンに加工し、このようなパターンを順次積層することにより、支持体、ミラー面および電極部など、素子を構成する各部位や、後に除去される犠牲層を形成する。一方、バルクマイクロマシニング技術では、材料基板自体をエッチングすることにより支持体やミラー部などを所望の形状に成形し、必要に応じてミラー面や電極を薄膜形成する。バルクマイクロマシニング技術については、例えば下記の特許文献1～3に記載されている。

【特許文献1】特開平10-190007号公報

【特許文献2】特開平10-270714号公報

【特許文献3】特開平2000-31502号公報

【0006】

マイクロミラー素子に要求される技術的事項の一つとして、光反射を担うミラー面の平面度が高いことが挙げられる。しかしながら、表面マイクロマシニング技術によると、最終的に形成されるミラー面が薄いためにミラー面が湾曲し易く、従って、広面積のミラー面において高い平面度を達成するのが困難である。これに対し、バルクマイクロマシニング技術によると、相対的に分厚い材料基板自体をエッチング技術により削り込んでミラー部を構成して当該ミラー部上にミラー面を設けるため、広面積のミラー面であっても、その剛性を確保することができる。その結果、十分に高い光学的平面度を有するミラー面を形成することが可能である。

【0007】

図16および図17は、バルクマイクロマシニング技術によって作製される従来の静電

駆動型マイクロミラー素子X5を表す。図16は、マイクロミラー素子X5の分解斜視図であり、図17は、組み立てられた状態のマイクロミラー素子X5における図16の線XV-II-XVIIに沿った断面図である。

【0008】

マイクロミラー素子X5は、ミラー基板50とベース基板56とが積層する構造を有する。ミラー基板50は、ミラー部51と、フレーム52と、これらを連結する一对のトーションバー53とからなる。導電性を有するシリコン基板などの所定の材料基板に対して、その片面側からエッチングを施すことにより、ミラー基板50におけるミラー部51、フレーム52、および一对のトーションバー53の外郭形状を成形することができる。ミラー部51の表面には、ミラー面54が設けられている。ミラー部51の裏面には、一对の電極55a、55bが設けられている。一对のトーションバー53は、ミラー部51の後述の揺動動作における回転軸心A5を規定する。ベース基板56には、ミラー部51の電極55aに対向する電極57a、および、電極55bに対向する電極57bが設けられている。

【0009】

マイクロミラー素子X5においては、ミラー基板50のフレーム52に電位を付与すると、フレーム52と同一の導体材料により一体的に成形されている一对のトーションバー53およびミラー部51を介して、電極55aおよび電極55bに電位が伝達される。したがって、フレーム52に所定の電位を付与することにより、電極55a、55bを例えば正に帯電させることができる。この状態において、ベース基板56の電極57aを負に帯電させると、電極55aと電極57aの間に静電引力が発生し、ミラー部51は、図17に示すように、一对のトーションバー53を振りながら矢印M5の方向に揺動する。ミラー部51は、電極間の静電引力と各トーションバー53の振り抵抗力の総和とが釣り合う角度まで揺動し、静止する。これに代えて、ミラー部51の電極55a、55bを正に帯電させた状態で電極57bを負に帯電させると、電極55bと電極57bの間に静電引力が発生し、ミラー部51は、矢印M5とは反対の方向に揺動し、静止する。以上のようなミラー部51の揺動駆動により、ミラー面54により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

【0010】

マイクロミラー素子X5において、ミラー部51の回転変位について大角度を達成するためには、ミラー基板50とベース基板56の機械的接触を回避すべく、当該ミラー基板50とベース基板56の間隔を十分に確保する必要がある。しかしながら、電極55a、57a間や電極55b、57b間に生ずる静電力は、電極間距離が増大するほど低下する傾向にあるため、ミラー基板50とベース基板56の間隔を十分に確保したうえでミラー部51を適切に駆動するためには、各電極に対して印加すべき駆動電圧を相当程度にまで増大しなければならない。駆動電圧の増大は、素子の構成上、或は小電力化の観点から、好ましくない場合が多い。

【0011】

図18は、バルクマイクロマシニング技術によって作製される従来の他のマイクロミラー素子X6の一部切欠き斜視図である。マイクロミラー素子X6は、上面にミラー面64が設けられたミラー部61と、フレーム62（一部省略）と、これらを連結する一对のトーションバー63とを有する。ミラー部61には、その相対向する端部に一对の櫛歯電極61a、61bが形成されている。フレーム62には、櫛歯電極61a、61bに対応して、内方に延びる一对の櫛歯電極62a、62bが形成されている。一对のトーションバー63は、フレーム62に対するミラー部61の回転動作の回転軸心A6を規定している。

【0012】

このような構成のマイクロミラー素子X6においては、静電力を発生させるために近接して設けられた一組の櫛歯電極、例えば櫛歯電極61aおよび櫛歯電極62aは、電圧非印加時には、図19(a)に示すように、上下2段に分かれた配向をとる。一方、所定電

圧印加時には、図19(b)に示すように、櫛歯電極61aが櫛歯電極62aに引き込まれ、これによってミラー部61が揺動する。より具体的には、図18において、例えば、櫛歯電極61aを正に帯電させ、櫛歯電極62aを負に帯電させると、ミラー部61が、一對のトーションバー63を振りながら回転軸心A6まわりに回転する。このようなミラー部61の回転駆動により、ミラー部61上に設けられたミラー面64により反射される光の反射方向を切り換えることができる。櫛歯電極によるこのような駆動に要求される駆動電圧は、平行平板電極による上述のマイクロミラー素子X5における駆動に要求される駆動電圧よりも、低い傾向にあることが知られている。

【0013】

図20は、マイクロミラー素子X6の製造方法を表す。図20においては、図18に示すミラー部61の一部、フレーム62、トーションバー63、および一組の櫛歯電極61a、62aの一部の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板（ウエハ）における単一のマイクロスイッチング素子形成区画に含まれる複数の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。

【0014】

マイクロミラー素子X6に製造方法においては、まず、図20(a)に示すようなウエハS6を用意する。ウエハS6は、いわゆるSOI（Silicon on Insulator）ウエハであり、シリコン層601と、シリコン層602と、これらの間の絶縁層603とからなる積層構造を有する。次に、図20(b)に示すように、シリコン層601に対して所定のマスクを介して異方性エッチングを行うことにより、ミラー部61、フレーム62の一部、トーションバー63、および櫛歯電極61aなどの、シリコン層601において成形されるべき構造部を形成する。次に、図20(c)に示すように、シリコン層602に対して所定のマスクを介して異方性エッチングを行うことにより、フレーム62の一部、および櫛歯電極62aなどの、シリコン層602において成形されるべき構造部が形成される。次に、図20(d)に示すように、絶縁層603に対して等方性エッチングを行うことにより、絶縁層603において露出する箇所を除去する。このようにして、ミラー部61、フレーム62、トーションバー63、および一組の櫛歯電極61a、62aが形成される。他組の櫛歯電極61b、62bも櫛歯電極61a、61bと同様に形成される。

【0015】

マイクロミラー素子X6では、ミラー部61の回転動作に伴って櫛歯電極61a、61bが変位するため、櫛歯電極61a、61bは、ミラー部61の所望の傾斜角度に見合った十分な厚さを有する必要がある。そのため、マイクロミラー素子X6のミラー部61の回転変位について大角度を達成するためには、回転動作方向において櫛歯電極61a、61bを長く設計し、駆動電極のストローク（適切に駆動力を発生し得る限りにおいて許容される、回転動作方向における各電極の相対的な可動範囲）を十分な長さに確保する必要がある。長いストロークを確保するためには、上述の製造方法において、必要なストローク長に応じた分厚いシリコン層601、602を有する材料基板S6に対して加工を施す必要がある。しかしながら、各電極歯の幅が相当程度に小さい櫛歯電極61a、61bを、十分に分厚いシリコン層601、602に対してエッチング等の加工を施すことによって高精度に形成するのは、困難な傾向にある。

【0016】

加えて、マイクロミラー素子X6では、ミラー部61が櫛歯電極61a、61bと同一の厚さに形成されるので、回転動作方向において長い櫛歯電極61a、61bの形成は、分厚いミラー部61の形成を必然的に伴ってしまう。ミラー部61が分厚いほど、ミラー部61の重量、従ってそのイナーシャは、大きい。その結果、ミラー部61の回転動作について、所望される速さでの駆動を達成できない場合が生ずる。

【0017】

このように、従来のマイクロミラー素子X6においては、ミラー部61について、回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに困難性を有する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

本発明は、このような事情のもとで考え出されたものであって、可動部における回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適したマイクロ揺動素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の第1の側面によるとマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、可動主部と、第1フレームおよび第2フレームと、可動主部および第1フレームを連結し且つ当該第1フレームに対する当該可動主部の第1回転動作における第1回転軸心を規定する、第1連結部と、第1フレームおよび第2フレームを連結し且つ当該第2フレームに対する当該第1フレームおよび可動主部の第2回転動作における第2回転軸心を規定する、第2連結部と、第1回転動作の駆動力を発生させるための第1駆動機構と、第2回転動作の駆動力を発生させるための第2駆動機構と、を備え、第1回転軸心および第2回転軸心は直交していない。第1駆動機構は例えば一組の櫛歯電極よりなり、この場合、一方の櫛歯電極は可動主部に対して一体的に設けられており、他方の櫛歯電極は第1フレームに対して一体的に設けられている。また、第2櫛歯電極は例えば一組の櫛歯電極よりなり、この場合、一方の櫛歯電極は第1フレームに対して一体的に設けられており、他方の櫛歯電極は第2フレームに対して一体的に設けられている。

【0020】

このような構成のマイクロ揺動素子においては、可動主部の第1回転動作および第2回転動作には共通の変位成分が含まれる。すなわち、当該共通変位成分における総変位量は、第1回転動作に由来する変位量と、第2回転動作に由来する変位量との、和に相当する。したがって、共通変位成分については、第1および第2駆動機構の各ストロークが重畳的に寄与して長いストロークが確保されることとなる。例えば、第1回転軸心および第2回転軸心が一致する場合には、第1回転動作の変位成分と第2回転動作の変位成分とは全て一致し、可動主部の回転変位量の全てが第1回転動作の変位量と第2回転動作の変位量との和に相当し、その結果、可動主部の回転変位については、第1および第2駆動機構の各ストロークよりも実効的に長いストロークが確保される。2種類の駆動機構のストロークの重畳的寄与により実効的な長ストロークが確保されるので、例えば一組の櫛歯電極よりなる各駆動機構について比較的薄く（回転動作方向において比較的短く）形成することができる。そのため、駆動機構の厚さが反映された厚さで形成される傾向にある可動部（ミラー部および第1フレーム）についても、比較的薄く形成することができる。薄い可動部ほど、軽量であり、高い動作速度を実現するのに好適である。このように、本発明の第1の側面のマイクロ揺動素子は、可動主部について回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適しているのである。

【0021】

本発明の第1において、好ましくは、第1連結部は、可動主部に近接するほど幅太な空隙部を有し、これと共に／或は、第2連結部は、第1フレームに接近するほど幅太な空隙部を有する。このような構成は、所望の回転変位に例えば直交する不要な変位成分を低減するうえで好適である。

【0022】

本発明の第2の側面によると他のマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、可動部と、フレームと、可動部およびフレームを連結し且つ当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する、連結部と、回転軸心から相対的に遠い箇所にて回転動作の駆動力を発生させるための第1駆動機構と、回転軸心に相対的に近い箇所にて回転動作の駆動力を発生させるための第2駆動機構と、を備える。第1駆動機構は例えば一組の櫛歯電極よりなり、この場合、一方の櫛歯電極は可動部に対して一体的に設けられており、他方の櫛歯電極はフレームに対して一体的に設けられている。また、第2櫛歯電極も例えば一組の櫛歯電極よりなり、この場合、一方の櫛歯電極は可動部に対

して一体的に設けられており、他方の櫛歯電極はフレームに対して一体的に設けられている。

【0023】

このような構成のマイクロ揺動素子においては、可動部の回転動作の駆動力としてより大きな回転トルクを発生させるうえでは、第1駆動機構は第2駆動機構より適しており、且つ、より長いストロークを確保するうえでは第2駆動機構は第1駆動機構より適している。本発明の第2の側面のマイクロ揺動素子では、2種類の駆動機構のこのような特長を有効に活用することにより、可動部について良好な回転動作を実現することができる。例えば、可動部の変位量が小角度範囲である場合には、主に第1駆動機構に頼って大きな回転トルクを発生させることができ、大角度範囲である場合には、第2駆動機構の相対的に長いストロークにわたって当該第2駆動機構により所定の回転トルクを持続させることができる。大きな回転トルクの発生に適した駆動機構と大きなストロークを確保するのに適した駆動機構とを併せて具備する本マイクロ揺動素子においては、各駆動機構における各櫛歯電極を過度に厚くせずとも、実効的な長ストロークを確保することが可能である。したがって、本発明の第2の側面のマイクロ揺動素子は、可動部における回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適しているのである。

【0024】

好ましくは、第1駆動機構および第2駆動機構は、共通の制御下で作動可能に構成されている。この場合、第1駆動機構および第2駆動機構は、電氣的に並列に接続されているのが好ましい。第1駆動機構および第2駆動機構は、或は、電氣的に分離され、相互に独立した制御下で作動可能に構成されていてもよい。

【0025】

本発明の第3の側面によると他のマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、可動部と、フレームと、可動部およびフレームを連結し、且つ、当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する、連結部と、回転軸心までの距離が連続的に変化する箇所において回転動作の駆動力を発生させるための駆動機構と、を備える。駆動機構は例えば一組の櫛歯電極よりなり、この場合、一方の櫛歯電極は可動部に対して一体的に設けられており、他方の櫛歯電極はフレームに対して一体的に設けられている。

【0026】

このような構成のマイクロ揺動素子では、単一の駆動機構に、第2の側面における第1および第2駆動機構が包含されている。したがって、本発明の第3の側面によると、第2の側面に関して上述したのと同様の効果が相される。加えて、第3の側面によると、単一駆動機構内にて発生される回転トルクは、所定の回転動作範囲にわたって連続的に緩やかに変化する傾向にある。このような特長は、可動部について良好な回転駆動を達成するうえで好適である。

【0027】

本発明の第4の側面によると他のマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、可動部と、フレームと、可動部およびフレームを連結し且つ当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する、連結部と、回転動作の駆動力を発生させるための第1櫛歯電極および第2櫛歯電極を含む駆動機構と、を備え、第1櫛歯電極および/または第2櫛歯電極は、電氣的に分離された第1導体部および第2導体部ならびに当該第1および第2導体部の間の絶縁部が回転動作の方向に積層された構造を有する電極歯を備える。このような構成のマイクロ揺動素子によると、単一の櫛歯電極に含まれる第1導体部および第2導体部を適宜使い分けることにより、可動部について良好な回転駆動を実現できる場合がある。

【0028】

本発明の第5の側面によると他のマイクロ揺動素子が提供される。このマイクロ揺動素子は、可動部と、フレームと、可動部およびフレームを連結し且つ当該フレームに対する当該可動部の回転動作における回転軸心を規定する、連結部と、回転動作の駆動力を発生

させるための第1歯電極および第2歯電極を含む駆動機構と、を備え、第1歯電極は、電氣的に接続された第1導体部および第2導体部ならびに当該第1および第2導体部の間の絶縁部が回転動作の方向に積層された構造を有する電極歯を備え、第2歯電極は、非駆動時には第1導体部に対向し且つ第2導体部に対向しない第3導体部からなる電極歯を備える。このような構成のマイクロ揺動素子によると、各歯電極に含まれる各導体部を適宜使い分けることにより、可動部について良好な回転駆動を実現できる場合がある。

【0029】

本発明の第4の側面において、好ましくは、第1導体部および第3導体部は、回転動作方向における長さが異なる。

【0030】

本発明の第1から第4の側面において、好ましくは、歯電極を構成する一組の歯電極の少なくとも一方は、基部と、当該基部から延出する電極歯とを有し、当該電極歯は、基部側の端部から幅または厚さの漸減する部位を有する。或は、好ましくは、歯電極を構成する一組の歯電極の少なくとも一方は、基部と、当該基部から延出する電極歯とを有し、当該電極歯は、他方の歯電極に接近するにつれて幅が漸増する部位を有する。

【0031】

本発明の第2から第4の側面において、好ましくは、連結部は、可動部に近接するほど幅太な空隙部を有する。このような構成は、所望の回転変位に例えば直交する不要な変位成分を低減するうえで好適である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

図1～図5は、本発明の第1の実施形態に係るマイクロミラー素子X1を表す。図1は、マイクロミラー素子X1の平面図であり、図2は、図1の線II-IIに沿った断面図である。また、図3～図5は、各々、図1の線III-III、線IV-IV、および線V-Vに沿った断面図である。

【0033】

マイクロミラー素子X1は、ミラー部11と、内フレーム12と、外フレーム13と、一对の連結部14と、一对の連結部15と、駆動機構16A、16Bと、駆動機構17A、17Bとを備える。また、マイクロミラー素子X1は、MEMS技術などのバルクマイクロマシニング技術により、いわゆるSOI (Silicon on Insulator) 基板である所定の積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによって製造されたものである。当該材料基板は、本実施形態では、シリコン層101、102およびシリコン層間の絶縁層103よりなる積層構造を有し、シリコン層101、102は、不純物のドーピングにより所定の導電性が付与されている。図の明確化の観点より、図1においては、シリコン層101に由来して絶縁層103より手前に位置する部位（後述のミラー面11aは除く）について、斜線ハッチングを付して表す。

【0034】

ミラー部11は、主にシリコン層101において成形された部位であり、その表面には、光反射機能を有するミラー面11aを有する。ミラー面11aは、シリコン層101上に成膜されたCr層およびその上のAr層よりなる積層構造を有する。このようなミラー部11は、本発明における可動主部を構成する。

【0035】

内フレーム12は、主にシリコン層101において成形された部位であり、ミラー部11を囲む形態を有する。このような内フレーム12と上述のミラー部11とは、本発明における可動部を構成する。外フレーム13は、主にシリコン層101から成形された部位であり、内フレーム12を囲む形態を有する。

【0036】

一对の連結部14は、シリコン層101において成形された部位であり、各々2本のトーションバー14aよりなる。各トーションバー14aは、ミラー部11および内フレー

ム12に接続してこれらを連結している。各連結部14の2本のトーションバー14aの間隔は、内フレーム12の側からミラー部11の側にかけて次第に広がっている。このような一对の連結部14は、内フレーム12に対するミラー部11の回転動作の回転軸心A1を規定する。内フレーム12の側からミラー部11の側にかけて間隔が漸増する2本のトーションバー14aよりなる連結部14は、ミラー部11の回転動作における不要な変位成分を防止するのに好適である。また、連結部14については、2本のトーションバー14aを介して、内フレーム12からミラー部11に対して2つの異なる電位を付与できるように構成することが可能である。

【0037】

一对の連結部15は、シリコン層101において成形された部位であり、各々2本のトーションバー15aよりなる。各トーションバー15aは、内フレーム12および外フレーム13に接続してこれらを連結している。各連結部15の2本のトーションバー15aの間隔は、外フレーム13の側から内フレーム12の側にかけて次第に広がっている。このような一对の連結部15が規定する、内フレーム12に対するミラー部11の回転動作の回転軸心は、回転軸心A1に一致する。すなわち、一对の連結部14および一对の連結部15は、各々の規定する回転軸心が一致するように配設されている。外フレーム13の側から内フレーム12の側にかけて間隔が漸増する2本のトーションバー15aよりなる連結部15は、内フレーム12ないしミラー部11の回転動作における不要な変位成分を防止するのに好適である。また、連結部15においては、2本のトーションバー15aを介して、外フレーム13から内フレーム12に対して2つの異なる電位を付与できるように構成することが可能である。

【0038】

駆動機構16A、16Bは、各々、櫛歯電極16aおよび櫛歯電極16bを有する。各櫛歯電極16aは、主にシリコン層101に由来する部位であり、ミラー部11に固定された基部16a'、および、当該基部16a'から延出する複数の電極歯16a''を有する。各櫛歯電極16bは、主にシリコン層102に由来する部位であり、内フレーム12に固定されて内方に延出する基部16b'、および、当該基部16b'から延出する複数の電極歯16b''を有する。櫛歯電極16bは、図2(a)および図3(a)に示すように、本素子の非回転駆動時には櫛歯電極16aより下位に位置する。また、櫛歯電極16a、16bは、回転駆動時において互いに当接しないよう、互いの電極歯16a''、16b''が位置ずれした態様で配されている。

【0039】

駆動機構17A、17Bは、各々、櫛歯電極17aおよび櫛歯電極17bを有する。各櫛歯電極17aは、主にシリコン層101に由来する部位であり、内フレーム12に固定されて外方に延出する基部17a'、および、当該基部17a'から延出する複数の電極歯17a''を有する。各櫛歯電極17bは、主にシリコン層102に由来する部位であり、外フレーム13に固定されて内方に延出する基部17b'、および、当該基部17b'から延出する複数の電極歯17b''を有する。櫛歯電極17bは、図4(a)および図5(a)に示すように、本素子の非回転駆動時には櫛歯電極17aより下位に位置する。また、櫛歯電極17a、17bは、回転動作時において互いに当接しないよう、互いの電極歯17a''、17b''が位置ずれした態様で配されている。

【0040】

マイクロミラー素子X1は、上述のように、MEMS技術などのバルクマイクロマシニング技術により、多層構造を有する材料基板に加工を施すことによって製造されたものである。また、当該材料基板は、本実施形態ではシリコン層101、102およびこれらの間の絶縁層103よりなる積層構造を有する。マイクロミラー素子X1の製造においては、具体的には、ミラー部11に対応する箇所を覆うエッチングマスク、内フレーム12に対応する箇所を覆うエッチングマスク、外フレーム13に対応する箇所を覆うエッチングマスク、一对の連結部14に対応する箇所を覆うエッチングマスク、一对の連結部15に対応する箇所を覆うエッチングマスク、および駆動機構16A、16B、17A、17B

の各々に対応する個所を覆うエッチングマスク、を適宜用いたエッチング処理を所定のタイミングで材料基板に施すことにより、各シリコン層 101, 103 を加工する。エッチング手法としては、Deep RIE (Deep Reactive Ion Etching) 法によるドライエッチングや、KOH などのウエットエッチングなどを利用することができる。絶縁層 103 における不要な部位は、適宜エッチング除去される。このようにして、シリコン層 101, 102 および絶縁層 103 を有する材料基板において、ミラー部 11、内フレーム 12、外フレーム 13、連結部 14, 15、および駆動機構 16A, 16B, 17A, 17B が、形成されることとなる。本発明では、マイクロミラー素子 X1 の製造に際して、他の積層構造を有する材料基板を採用してもよい。後述のマイクロミラー素子の製造に際しても同様である。

【0041】

マイクロミラー素子 X1 においては、駆動機構 16A, 16B の櫛歯電極 16a, 16b および駆動機構 17A, 17B の櫛歯電極 17a, 17b の各々に対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、ミラー部 11 を回転軸心 A1 まわりに回転動作させることができる。

【0042】

駆動機構 17A の櫛歯電極 17a, 17b に所定の電位を付与することにより当該櫛歯電極 17a, 17b 間に所望の静電引力を発生させると、櫛歯電極 17a は櫛歯電極 17b に引きこまれ、両電極は例えば図 4 (b) および図 5 (b) に示す配向をとる。これにより、内フレーム 12 およびこれに伴うミラー部 11 は、外フレーム 13 に対して回転軸心 A1 まわりに回転動作することとなる。当該回転動作における回転変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。櫛歯電極 17a, 17b が図 4 (b) および図 5 (b) に示す配向をとる状態において、駆動機構 16A の櫛歯電極 16a, 16b に所定の電位を付与することにより当該櫛歯電極 16a, 16b 間に所望の静電引力を発生させると、櫛歯電極 16a は櫛歯電極 16b に引きこまれ、両電極は例えば図 2 (b) および図 3 (b) に示す配向をとる。これにより、ミラー部 11 は、内フレーム 12 に対して回転軸心 A1 まわりに回転動作することとなる。当該回転動作における回転変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。ミラー部 11 の総変位量は、上述の 2 種の回転変位における変位量の総和に相当する。回転軸心 A1 まわりの逆側へのミラー部 11 の回転駆動については、駆動機構 16A, 17A に関して上述したのと同様に駆動機構 16B, 17B にて所望の静電引力を発生させることにより、達成することができる。このようなミラー部 11 の 2 方向への回転駆動により、ミラー部 11 上に設けられたミラー面 11a により反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

【0043】

マイクロミラー素子 X1 においては、駆動機構 17A および駆動機構 16A の各ストロークが、または、駆動機構 17B および駆動機構 16B の各ストロークが、重疊的に寄与して長いストロークが確保される。2 種類の駆動機構のストロークの重疊的寄与により実効的な長ストロークが確保されるので、例えば一組の櫛歯電極よりなる各駆動機構 16A, 16B, 17A, 17B について比較的薄く（回転動作方向において比較的短く）形成することができる。そのため、駆動機構の厚さが反映された厚さで形成される傾向にある可動部（ミラー部 11 および内フレーム 12）についても、比較的薄く形成することができる。薄い可動部ほど、軽量であり、高い動作速度を実現するのに好適である。このように、マイクロミラー素子 X1 は、ミラー部 11 について、回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適している。

【0044】

マイクロミラー素子 X1 においては、駆動機構 16A と駆動機構 17A とを電氣的に並列に配し、且つ、駆動機構 16B と駆動機構 17B とを電氣的に並列に配することにより、回転駆動制御の簡素化を図ることができる。

【0045】

具体的には、駆動機構 16A の一方の櫛歯電極 16a と駆動機構 17A の一方の櫛歯電

極 17 a とを電氣的に並列に配し、且つ、駆動機構 16 A の他方の櫛歯電極 16 b と駆動機構 17 A の他方の櫛歯電極 17 b とを電氣的に並列に配する場合、回転駆動時において、当該櫛歯電極 16 a, 17 a には同時に同一の電位が付与されることとなり、且つ、当該櫛歯電極 16 b, 17 b には同時に同一の電位が付与されることとなり、両駆動機構 16 A, 17 A についての制御を共通化することができる。同様に、駆動機構 16 B の一方の櫛歯電極 16 a と駆動機構 17 B の一方の櫛歯電極 17 a とを電氣的に並列に配し、且つ、駆動機構 16 B の他方の櫛歯電極 16 b と駆動機構 17 B の他方の櫛歯電極 17 b とを電氣的に並列に配する場合、回転駆動時において、当該櫛歯電極 16 a, 17 a には同時に同一の電位が付与されることとなり、且つ、当該櫛歯電極 16 b, 17 b には同時に同一の電位が付与されることとなり、両駆動機構 16 B, 17 B についての制御を共通化することができる。

【0046】

両駆動機構 16 A, 17 A により達成し得る最大回転変位角度が等しく設定されている設計において、駆動制御を共通化する場合、連結部 15, 14 の振りバネ定数を各々 k_1 , k_1 とし、駆動機構 17 A, 16 A により発生される正味の回転トルクを各々 T_1 , T_2 とすると、下記式 (1) の条件を満たす場合に最も効率よく両櫛歯電極 16 A, 17 B を制御することができる。一方、駆動機構 17 A により達成し得る最大回転変位角度と駆動機構 16 A のその比が 1 : a に設定されている設計において、駆動制御を共通化する場合、連結部 15, 14 の振りバネ定数を各々 k_1 , k_1 とし、駆動機構 17 A, 16 A により発生される正味の回転トルクを各々 T_1 , T_2 とすると、下記式 (2) の条件を満たす場合に最も効率よく両櫛歯電極 16 A, 17 B を制御することができる。以上の好ましい条件については、駆動機構 16 B, 17 B 間の関係についても同様である。また、ミラー部 11 および内フレーム 12 のイナーシャを各々 I_1 , I_2 とすると、マイクロミラー素子 X 1 においては、 k_1/T_1 と $k_2/(T_1+T_2)$ の値は一致しているのが望ましい。

【0047】

【数 1】

$$k_1/T_1 = k_2/T_2 \quad \dots (1)$$

$$k_1/T_1 = a (k_2/T_2) \quad \dots (2)$$

【0048】

マイクロミラー素子 X 1 においては、駆動機構 16 A と駆動機構 17 A とを電氣的に分離して配し、且つ、駆動機構 16 B と駆動機構 17 B とを電氣的に分離して配することにより、回転駆動制御の高精度化を図ることができる。このような構成によると、各駆動機構 16 A, 16 B, 17 A, 17 B ごとに発生させる駆動力ないし回転トルクを独立に調整することにより、回転軸心 A 1 まわりの 2 種類の回転動作を独立に制御することができる。この場合においても、駆動機構 16 A, 17 A 間および駆動機構 16 B, 17 B 間の関係について、上述の所条件を満たすのが好ましい。

【0049】

図 6 ~ 図 9 は、本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロミラー素子 X 2 を表す。図 6 は、マイクロミラー素子 X 2 の平面図であり、図 7 は、図 6 の線 VII-VII に沿った断面図である。また、図 8 および図 9 は、各々、図 6 の線 VIII-VIII および線 IX-IX に沿った断面図である。

【0050】

マイクロミラー素子 X 2 は、ミラー部 21 と、フレーム 22 と、一对の連結部 23 と、駆動機構 24 A, 24 B と、駆動機構 25 A, 25 B とを備える。また、マイクロミラー素子 X 2 は、マイクロミラー素子 X 1 と同様に、MEMS 技術などのバルクマイクロマシニング技術により、SOI 基板である所定の積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによって製造されたものである。当該材料基板は、本実施形態では、第 1 の実施形態と同様に、導電性が付与されたシリコン層 101, 102 およびシリコン層間の絶縁層

103よりなる積層構造を有する。図の明確化の観点より、図6においては、シリコン層101に由来して絶縁層103より手前に位置する部位（後述のミラー面21aは除く）について、斜線ハッチングを付して表す。

【0051】

ミラー部21は、主にシリコン層101において成形された部位であり、その表面には、光反射機能を有するミラー面21aを有する。ミラー面21aは、シリコン層101上に成膜されたCr層およびその上のAr層よりなる積層構造を有する。このようなミラー部21は、本発明における可動部を構成する。フレーム22は、主にシリコン層101において成形された部位であり、ミラー部21を囲む形態を有する。

【0052】

一对の連結部23は、シリコン層101において成形された部位であり、各々2本のトーションバー23aよりなる。各トーションバー23aは、ミラー部21およびフレーム22に接続してこれらを連結している。各連結部23の2本のトーションバー23aの間隔は、フレーム22の側からミラー部21の側にかけて次第に広がっている。このような一对の連結部23は、フレーム22に対するミラー部21の回転動作の回転軸心A2を規定する。フレーム22の側からミラー部21の側にかけて間隔が漸増する2本のトーションバー23aよりなる連結部23は、ミラー部21の回転動作における不要な変位成分を防止するのに好適である。また、連結部23については、2本のトーションバー23aを介して、フレーム22からミラー部21に対して2つの異なる電位を付与できるように構成することが可能である。

【0053】

駆動機構24A、24Bは、各々、櫛歯電極24aおよび櫛歯電極24bを有する。各櫛歯電極24aは、主にシリコン層101に由来する部位であり、ミラー部21に固定された基部24a'、および、当該基部24a'から延出する複数の電極歯24a''を有する。各櫛歯電極24bは、主にシリコン層102に由来する部位であり、フレーム22に固定されて内方に延出する基部24b'、および、当該基部24b'から延出する複数の電極歯24b''を有する。櫛歯電極24bは、図7(a)および図8(a)に示すように、本素子の非回転駆動時には櫛歯電極24aより下位に位置する。また、櫛歯電極24a、24bは、回転動作時において互いに当接しないよう、互いの電極歯24a''、24b''が位置ずれした態様で配されている。

【0054】

駆動機構25A、25Bは、各々、櫛歯電極25aおよび櫛歯電極25bを有する。各櫛歯電極25aは、主にシリコン層101に由来する部位であり、ミラー部21に固定された基部25a'、および、当該基部25a'から延出する複数の電極歯25a''を有する。各櫛歯電極25bは、主にシリコン層102に由来する部位であり、フレーム22に固定されて内方に延出する基部25b'、および、当該基部25b'から延出する複数の電極歯25b''を有する。櫛歯電極25bは、図7(a)および図9(a)に示すように、本素子の非回転駆動時には櫛歯電極25aより下位に位置する。また、櫛歯電極25a、25bは、回転動作時において互いに当接しないよう、互いの電極歯25a''、25b''が位置ずれした態様で配されている。

【0055】

マイクロミラー素子X2においては、駆動機構24A、24Bの櫛歯電極24a、24bおよび駆動機構25A、25Bの櫛歯電極25a、25bの各々に対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、ミラー部21を回転軸心A2まわりに回転動作させることができる。

【0056】

例えば、駆動機構24Aの櫛歯電極24a、24bに所定の電位を付与することにより当該櫛歯電極24a、24b間に所望の静電引力を発生させ、且つ、駆動機構25Aの櫛歯電極25a、25bに所定の電位を付与することにより当該櫛歯電極25a、25b間に所望の静電引力を発生させると、櫛歯電極24aは櫛歯電極24bに引きこまれ、且つ

、櫛歯電極 25 a は櫛歯電極 25 b に引きこまれ、両電極は例えば図 7 (b)、図 8 (b)、および図 9 (b) に示す配向をとる。これにより、ミラー部 21 は、フレーム 22 に対して回転軸心 A 2 まわりに回転動作することとなる。当該回転動作における回転変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。回転軸心 A 2 まわりの逆側へのミラー部 21 の回転駆動については、駆動機構 24 A、25 A に関して上述したのと同様に駆動機構 24 B、25 B にて所望の静電引力を発生させることにより、達成することができる。このようなミラー部 21 の 2 方向への回転駆動により、ミラー部 21 上に設けられたミラー面 21 a により反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

【0057】

マイクロミラー素子 X 2 においては、ミラー部 21 の回転動作における回転軸心 A 2 に対し、駆動機構 24 A、24 B は相対的に遠くに配設され、駆動機構 25 A、25 B は相対的に近くに配設されている。このような構成においては、駆動機構 24 A、24 B は、大きな回転トルクを発生するうえで駆動機構 25 A、25 B より適している。例えば、駆動機構 24 A、24 B と駆動機構 25 A、25 B の寸法設計が同一である場合、これらに同一の電圧を印加すると、駆動機構 24 A、24 B では、回転軸心 A 2 からの距離がより遠いために駆動機構 25 A、25 B よりも大きな回転トルクが発生する。また、駆動機構 25 A、25 B は、大きなストロークを確保するうえで駆動機構 24 A、24 B より適している。例えば、駆動機構 24 A、24 B と駆動機構 25 A、25 B の寸法設計が同一である場合、駆動機構 25 A、25 B は、駆動機構 24 A、24 B よりも、より大きな回転変位量（回転角度）にわたるストロークを有する。大きな回転トルクの発生に適した駆動機構 24 A、24 B と大きなストロークを確保するのに適した駆動機構 25 A、25 B とを併せて具備するマイクロミラー素子 X 2 においては、各駆動機構における各櫛歯電極を過度に厚くせずとも、実効的な長ストロークを確保することが可能である。このようなマイクロミラー素子 X 2 は、ミラー部 21 について、回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適している。

【0058】

このようなマイクロミラー素子 X 2 においては、駆動機構 24 A、24 B および駆動機構 25 A、25 B の各々の特長を有効活用すべく、駆動機構 24 A、24 B および駆動機構 25 A、25 B を電気的に分離して各々に独立に制御するのが好ましい。例えば、ミラー部 21 の変位量が小角度範囲においては主に駆動機構 24 A、24 B に頼って大きな回転トルクを発生させ、大角度範囲においては、駆動機構 25 A、25 B の相対的に長いストロークにわたって当該駆動機構 25 A、25 B により所定の回転トルクを持続させることができる。

【0059】

また、マイクロミラー素子 X 2 においては、駆動機構 25 A、25 B の櫛歯電極 25 a、25 b の電場発生面積を所望の程度にまで大きくすることにより、当該駆動機構 25 A、25 B により発生される回転トルクと、駆動機構 24 A、24 B により発生される回転トルクのとの差を小さく設定してもよい。或は、回転軸心 A 2 から更に遠い箇所にて駆動力を発生するための駆動機構を複数種類追加してもよい。これらの構成を採用することにより、マイクロミラー素子 X 2 における所定の特性を向上できる場合がある。

【0060】

加えて、マイクロミラー素子 X 2 においては、ミラー部 21 を高精度に回転駆動すべく、ミラー部 21 の回転変位量（回転角度）を検出するための手段を設けるのが好ましい。当該検出手段としては、例えば、ミラー部 21 の上面または下面での光反射を利用する光学的な手法、櫛歯電極やミラー部 21 の下面において静電容量値を計測する手法、或は、連結部 23 ないしトーションバー 23 a の歪みをピエゾ抵抗などの歪みゲージを用いて計測する手法を、採用することができる。

【0061】

図 10～図 13 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロミラー素子 X 3 を表す。図 10 は、マイクロミラー素子 X 3 の平面図であり、図 11 は、図 10 の線 XI-XI に沿った

断面図である。また、図12および図13は、各々、図10の線XII-XIIIおよび線XIII-XIIIに沿った断面図である。

【0062】

マイクロミラー素子X3は、ミラー部31と、フレーム32と、一对の連結部33と、駆動機構34A、34Bとを備える。また、マイクロミラー素子X3は、マイクロミラー素子X1と同様に、MEMS技術などのバルクマイクロマシニング技術により、SOI基板である所定の積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによって製造されたものである。当該材料基板は、本実施形態では、第1の実施形態と同様に、導電性が付与されたシリコン層101、102およびシリコン層間の絶縁層103よりなる積層構造を有する。図の明確化の観点より、図10においては、シリコン層101に由来して絶縁層103より手前に位置する部位（後述のミラー面31aは除く）について、斜線ハッチングを付して表す。

【0063】

ミラー部31は、主にシリコン層101において成形された部位であり、その表面には、光反射機能を有するミラー面31aを有する。ミラー面31aは、シリコン層101上に成膜されたCr層およびその上のAr層よりなる積層構造を有する。このようなミラー部31は、本発明における可動部を構成する。フレーム32は、主にシリコン層101において成形された部位であり、ミラー部31を囲む形態を有する。

【0064】

一对の連結部33は、シリコン層101において成形された部位であり、各々2本のトーションバー33aよりなる。各トーションバー33aは、ミラー部31およびフレーム32に接続してこれらを連結している。各連結部33の2本のトーションバー33aの間隔は、フレーム32の側からミラー部31の側にかけて次第に広がっている。このような一对の連結部33は、フレーム32に対するミラー部31の回転動作の回転軸心A3を規定する。フレーム32の側からミラー部31の側にかけて間隔が漸増する2本のトーションバー33aよりなる連結部33は、ミラー部31の回転動作における不要な変位成分を防止するのに好適である。また、連結部33については、2本のトーションバー33aを介して、内フレーム32からミラー部31に対して2つの異なる電位を付与できるように構成することが可能である。

【0065】

駆動機構34A、34Bは、各々、櫛歯電極34aおよび櫛歯電極34bを有する。各櫛歯電極34aは、主にシリコン層101に由来する部位であり、ミラー部31に固定された基部34a'および複数の電極歯34a''を有する。基部34a'は、ミラー部31から遠ざかるにつれて回転軸心A3に近接ように延びている。このような基部34a'から、略同一長さの複数の電極歯34a''が回転軸心A3に直交する方向に延びている。一方、各櫛歯電極34bは、主にシリコン層102に由来する部位であり、フレーム32に固定されて内方に延出する基部34b'および複数の電極歯34b''を有する。基部34b'は、ミラー部31に近づくにつれて回転軸心A3から遠ざかるように延びている。このような基部34b'から、略同一長さの複数の電極歯34b''が回転軸心A3に直交する方向に延びている。櫛歯電極34bは、図11(a)、図12(a)、および図13(a)に示すように、本素子の非回転駆動時には櫛歯電極34aより下位に位置する。また、櫛歯電極34a、34bは、回転動作時において互いに当接しないよう、互いの電極歯34a''、34b''が位置ずれした態様で配されている。

【0066】

マイクロミラー素子X3においては、駆動機構34A、34Bの櫛歯電極34a、34bの各々に対して必要に応じて所定の電位を付与することにより、ミラー部31を回転軸心A3まわりに回転動作させることができる。

【0067】

例えば、駆動機構34Aの櫛歯電極34a、34bに所定の電位を付与することにより当該櫛歯電極34a、34b間に所望の静電引力を発生させると、櫛歯電極34aは櫛歯

電極 34b に引きこまれ、両電極は例えば図 11 (b)、図 12 (b)、および図 13 (b) に示す配向をとる。これにより、ミラー部 31 は、フレーム 32 に対して回転軸心 A3 まわりに回転動作することとなる。当該回転動作における回転変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。回転軸心 A3 まわりの逆側へのミラー部 31 の回転駆動については、駆動機構 34A に関して上述したのと同様に駆動機構 34B にて所望の静電引力を発生させることにより、達成することができる。このようなミラー部 31 の 2 方向への回転駆動により、ミラー部 31 上に設けられたミラー面 31a により反射される光の反射方向を適宜切り換えることができる。

【0068】

マイクロミラー素子 X3 では、各駆動機構 34A、34B において最近に対置する電極歯 34a'', 34b'' によるストロークは、電極歯並列方向にわたって連続的に変化する。具体的には、最近に対置する電極歯 34a'', 34b'' によるストロークは、ミラー部 31 の側からフレーム 32 の側にかけて次第に増大する。したがって、マイクロミラー素子 X3 においては、駆動機構 34A、34B における櫛歯電極 34a, 34b を過度に厚くせずとも、実効的な長ストロークを確保することが可能である。このようなマイクロミラー素子 X3 は、ミラー部 31 について、回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適している。

【0069】

加えて、マイクロミラー素子 X3 では、各駆動機構 34A、34B において最近に対置する電極歯 34a'', 34b'' 間に発生する回転トルクは、電極歯並列方向にわたって連続的に変化する。具体的には、最近に対置する電極歯 34a'', 34b'' 間に発生する回転トルクは、フレーム 32 の側からミラー部 31 の側にかけて次第に増大する。したがって、マイクロミラー素子 X3 では、ミラー部 31 の比較的広い回転動作範囲において急激なトルク変動が生ずるのを回避することができる。

【0070】

図 14 および図 15 は、マイクロミラー素子 X1 ~ X3 の各駆動機構を構成する櫛歯電極の変形例を表す。図 14 (a) ~ 図 14 (d) および図 15 (a) は、各変形例における電極歯の縦断面を表し、図 15 (b) および図 15 (c) は、各々、変形例の部分平面図である。

【0071】

図 14 (a) に示す変形例では、固定櫛歯電極が電極歯 41 を有し、可動櫛歯電極が電極歯 41' を有する。電極歯 41 と電極歯 41' は櫛歯電極の厚み方向において重なりを有する。ここで固定櫛歯電極とは、マイクロミラー素子 X1 においては櫛歯電極 16b, 17b に相当し、マイクロミラー素子 X2 においては櫛歯電極 24b, 25b に相当し、マイクロミラー素子 X3 においては櫛歯電極 34b に相当するものとする。一方、可動櫛歯電極とは、マイクロミラー素子 X1 においては櫛歯電極 16a, 17a に相当し、マイクロミラー素子 X2 においては櫛歯電極 24a, 25a に相当し、マイクロミラー素子 X3 においては櫛歯電極 34a に相当するものとする。後述の他の変形例についても同様である。本変形例の電極歯 41 は、導体部 41a, 41b とこれらの間の絶縁部 41c とからなる積層構造を有する。導体部 41a, 41b は、例えば、単結晶シリコン、多結晶シリコン、シリコンと高融点金属との合金 (WSi, TiSi など)、または金属 (Cu, Ni など) よりなり、電氣的に分離しておく。絶縁部 41c は、例えば SiO₂ や Si₃N₄ よりなる。このような構成においては、0 度前後の微小な回転角度範囲にて導体部 41a と電極歯 41' との間で強い回転トルクを発生できるとともに、導体部 41a から電氣的に分離している導体部 41b と電極歯 41' との間において所定の回転トルクを広い範囲で発生させることができる。

【0072】

図 14 (b) に示す変形例では、固定櫛歯電極が電極歯 42 を有し、可動櫛歯電極が電極歯 42' を有する。電極歯 42 は、導体部 42a, 42b とこれらの間の絶縁部 42c とからなる積層構造を有する。電極歯 42 において、導体部 42a, 42b は電氣的に接

続しておく。このような構成においては、非回転駆動時において電極歯 4 2 と電極歯 4 2' とが既に部分的な重なりを有するので、0 度前後の微小な回転角度範囲での回転トルクの急激な変化を低減することができる。

【0073】

図 1 4 (c) に示す変形例では、可動櫛歯電極が電極歯 4 3 を有し、固定櫛歯電極が電極歯 4 3' を有する。電極歯 4 3 は、導体部 4 3 a, 4 3 b とこれらの間の絶縁部 4 3 c とからなる積層構造を有する。電極歯 4 3 において、導体部 4 3 a, 4 3 b は電氣的に接続しておく。このような構成においては、非回転駆動時において電極歯 4 3 と電極歯 4 3' とが既に部分的な重なりを有するので、0 度前後の微小な回転角度範囲での回転トルクの急激な変化を低減することができる。

【0074】

図 1 4 (d) に示す変形例では、固定櫛歯電極が電極歯 4 4 を有し、可動櫛歯電極が電極歯 4 4' を有する。両電極歯 4 4, 4 4' は、各々、一様な導体部よりなる。このような構成においては、非回転駆動時において電極歯 4 4 と電極歯 4 4' とが既に部分的な重なりを有するので、0 度前後の微小な回転角度範囲での回転トルクの急激な変化を低減することができる。

【0075】

図 1 5 (a) に示す変形例では、固定櫛歯電極が電極歯 4 5 を有し、可動櫛歯電極が電極歯 4 5' を有する。非回転駆動時に下位に位置する電極歯 4 5 は、下方から上方にかけて次第に太くなるよう設計されており、非回転駆動時に上位に位置する電極歯 4 5' は、上方から下方にかけて次第に太くなるよう設計されている。このような構成によると、0 度前後での微小な回転角度範囲での回転トルクの急激な変化を低減したり、大角度における回転トルクを低減することにより、櫛歯電極が抜けた後（ストロークを逸脱した後）の容量変動を低減することができる。また、本構成によると、各電極歯の曲げ強度を向上することもできる。

【0076】

図 1 5 (b) に示す変形例では、最外電極歯 4 6 が他の電極歯よりも厚く設定されている。一組の櫛歯電極よりなる駆動機構における最外電極歯には、電圧印加時に駆動機構内方に向かって大きな曲げ静電力が作用するが、本構成によると、当該静電力により最外電極歯 4 6 が不当に曲げられるのを防止することができる。

【0077】

図 1 5 (c) に示す変形例では、基部 4 7 から延出する各電極歯 4 8 について、自由端から基端にかけて次第に太くなるよう設計されている。このような構成によると、電極歯 4 8 の曲げ強度を適切に向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図 1】 本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 2】 図 1 の線 II に沿った断面図である。

【図 3】 図 1 の線 III-III に沿った断面図である。

【図 4】 図 1 の線 IV-IV に沿った断面図である。

【図 5】 図 1 の線 V-V に沿った断面図である。

【図 6】 本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 7】 図 6 の線 VII-VII に沿った断面図である。

【図 8】 図 6 の線 VIII-VIII に沿った断面図である。

【図 9】 図 6 の線 IX-IX に沿った断面図である。

【図 10】 本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロミラー素子の平面図である。

【図 11】 図 10 の線 XI-XI に沿った断面図である。

【図 12】 図 10 の線 XII-XII に沿った断面図である。

【図 13】 図 10 の線 XIII-XIII に沿った断面図である。

【図 14】 櫛歯電極の変形例を表す。

【図 1 5】 櫛歯電極の他の変形例を表す。

【図 1 6】 従来のマイクロミラー素子の分解斜視図である。

【図 1 7】 組み立てられた状態における図 1 6 のマイクロミラー素子の線 XVII - XVII に沿った断面図である。

【図 1 8】 従来の他のマイクロミラー素子の斜視図である。

【図 1 9】 一組の櫛歯電極の配向を表す。

【図 2 0】 図 1 8 に示すマイクロミラー素子の製造方法における一部の工程を表す。

【符号の説明】

【 0 0 7 9 】

X 1, X 2, X 3, X 5, X 6 マイクロミラー素子

1 1, 2 1, 3 1 ミラー部

1 2 内フレーム

1 3 外フレーム

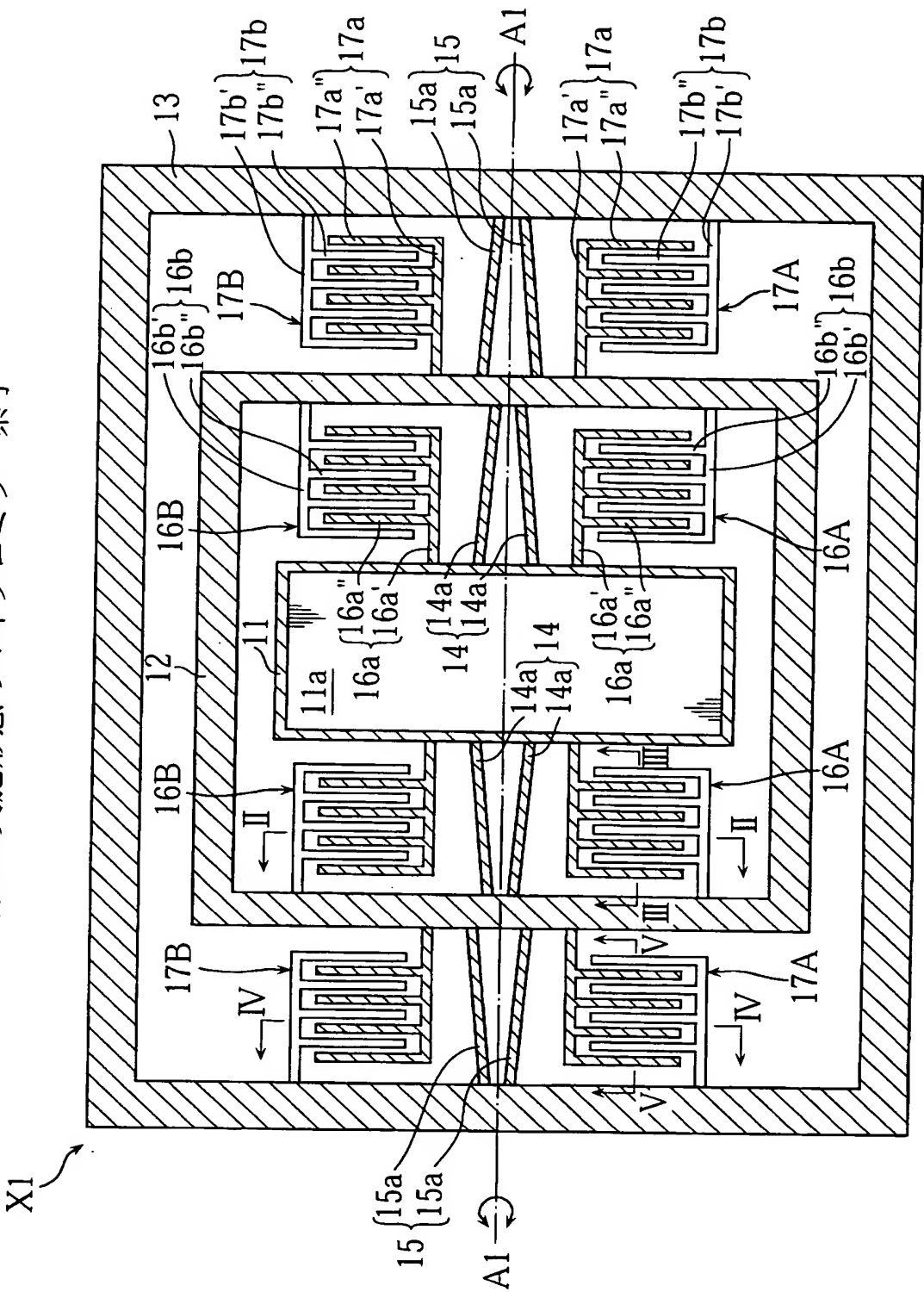
2 2, 3 2 フレーム

1 4, 1 5, 2 3, 3 3 連結部

1 6, 1 7, 2 4, 2 5, 3 4 駆動機構

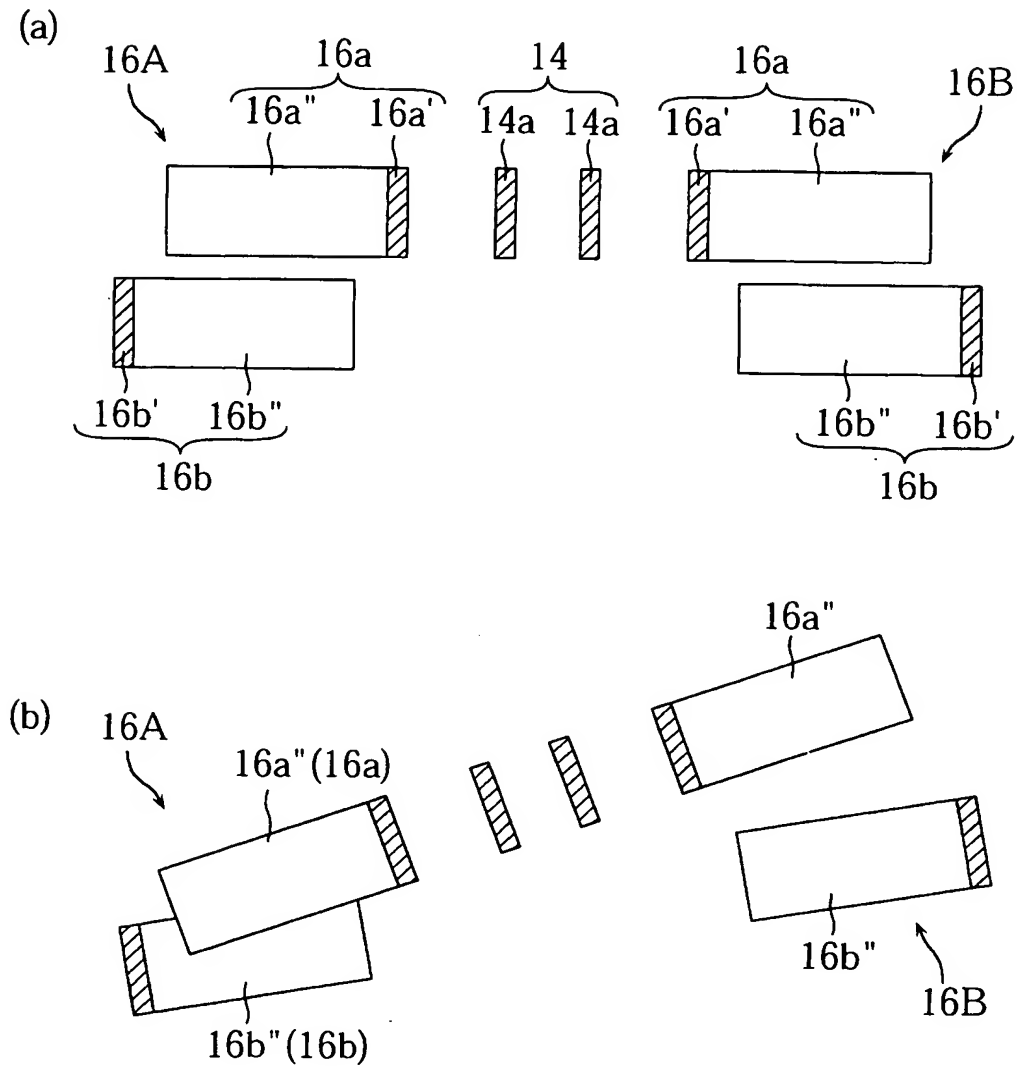
【書類名】 図面
【図 1】

第1の実施形態のマイクロミラー素子



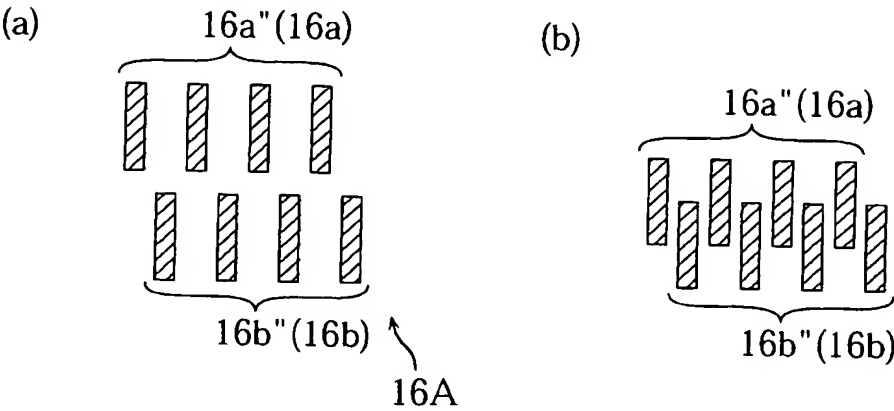
【図2】

図1の線II-IIに沿った断面図



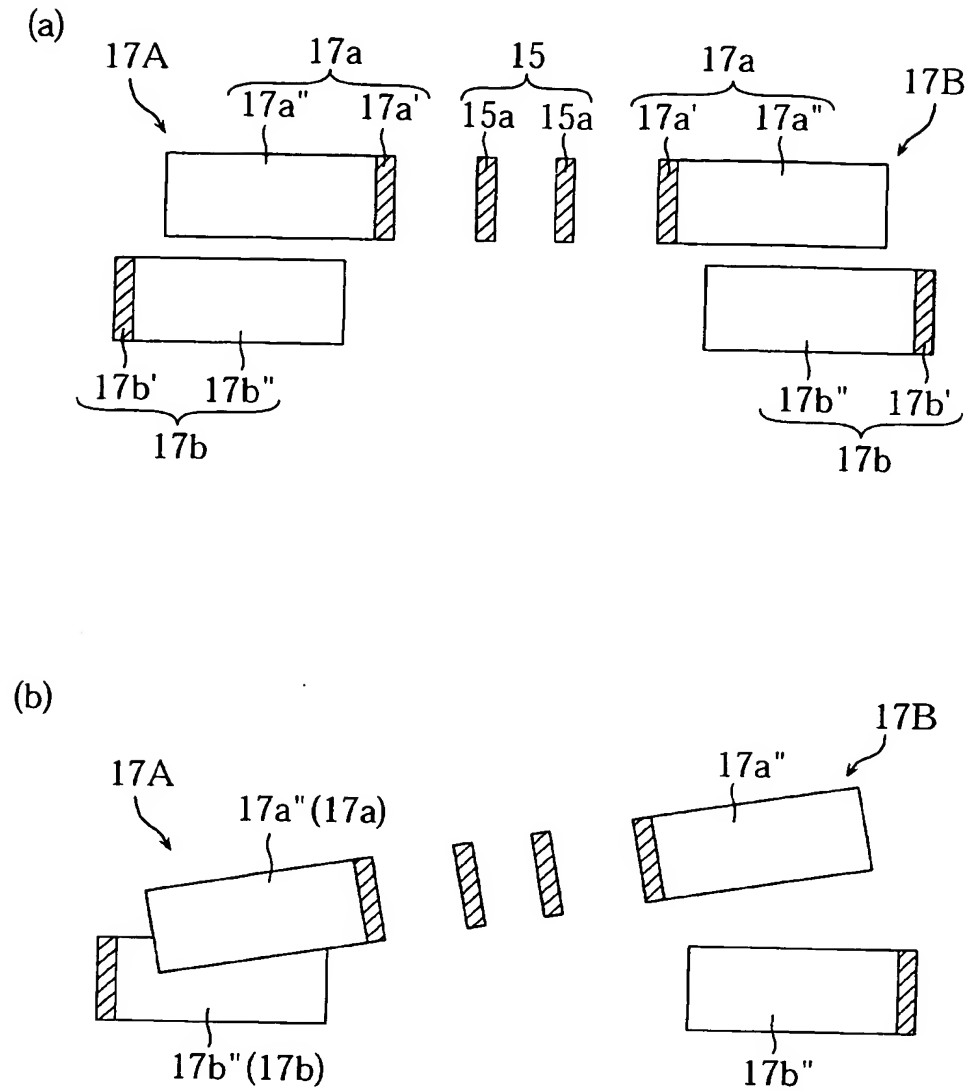
【図 3】

図1の線Ⅲ-Ⅲに沿った断面図



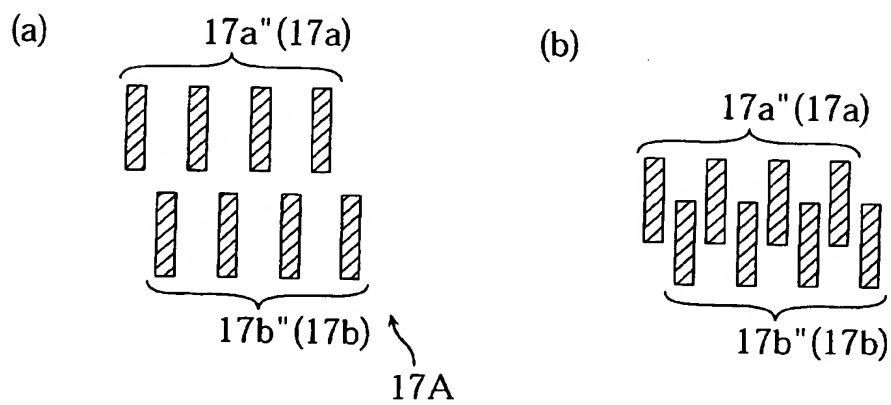
【図 4】

図1の線IV-IVに沿った断面図



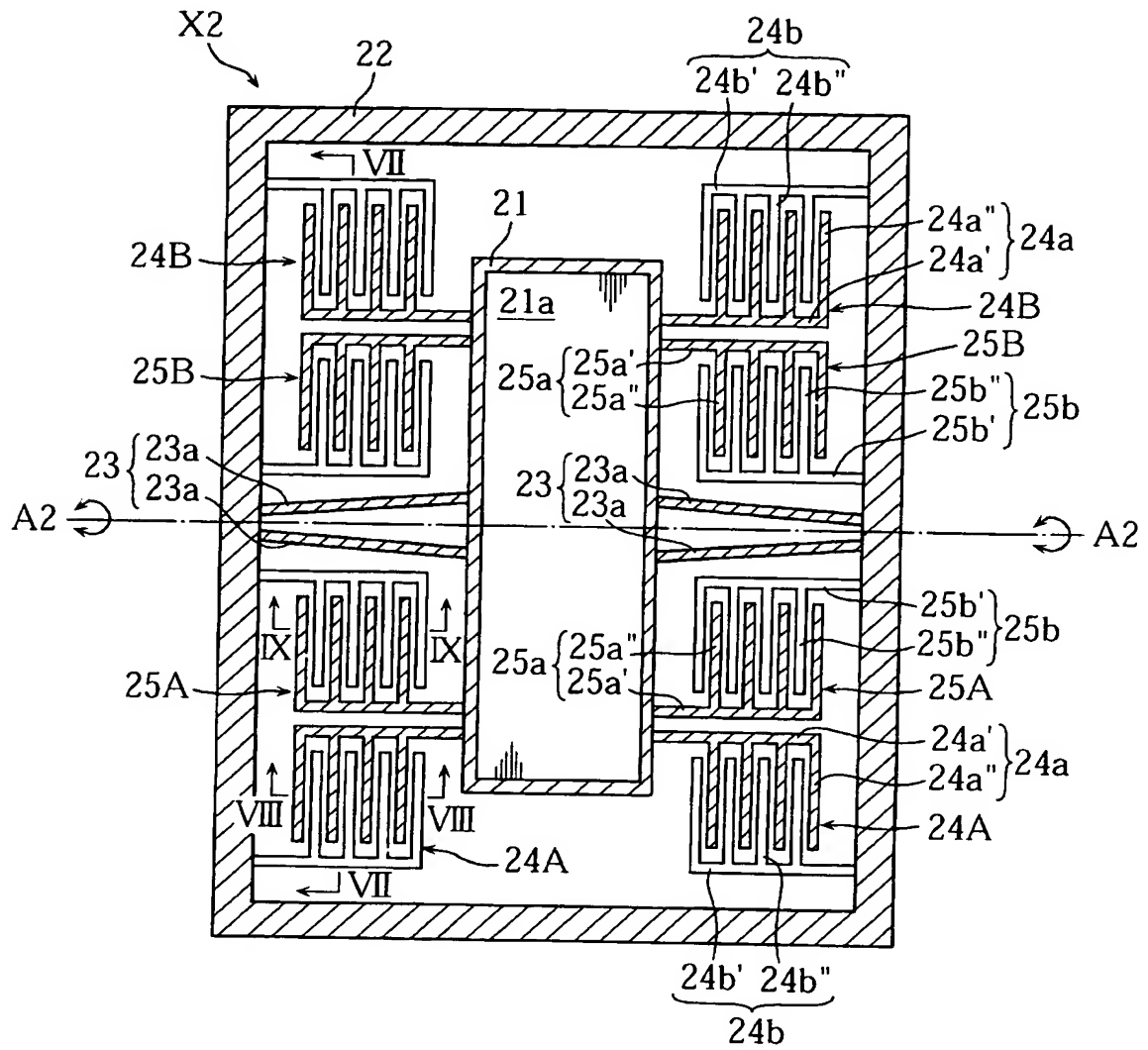
【図 5】

図1の線V-Vに沿った断面図



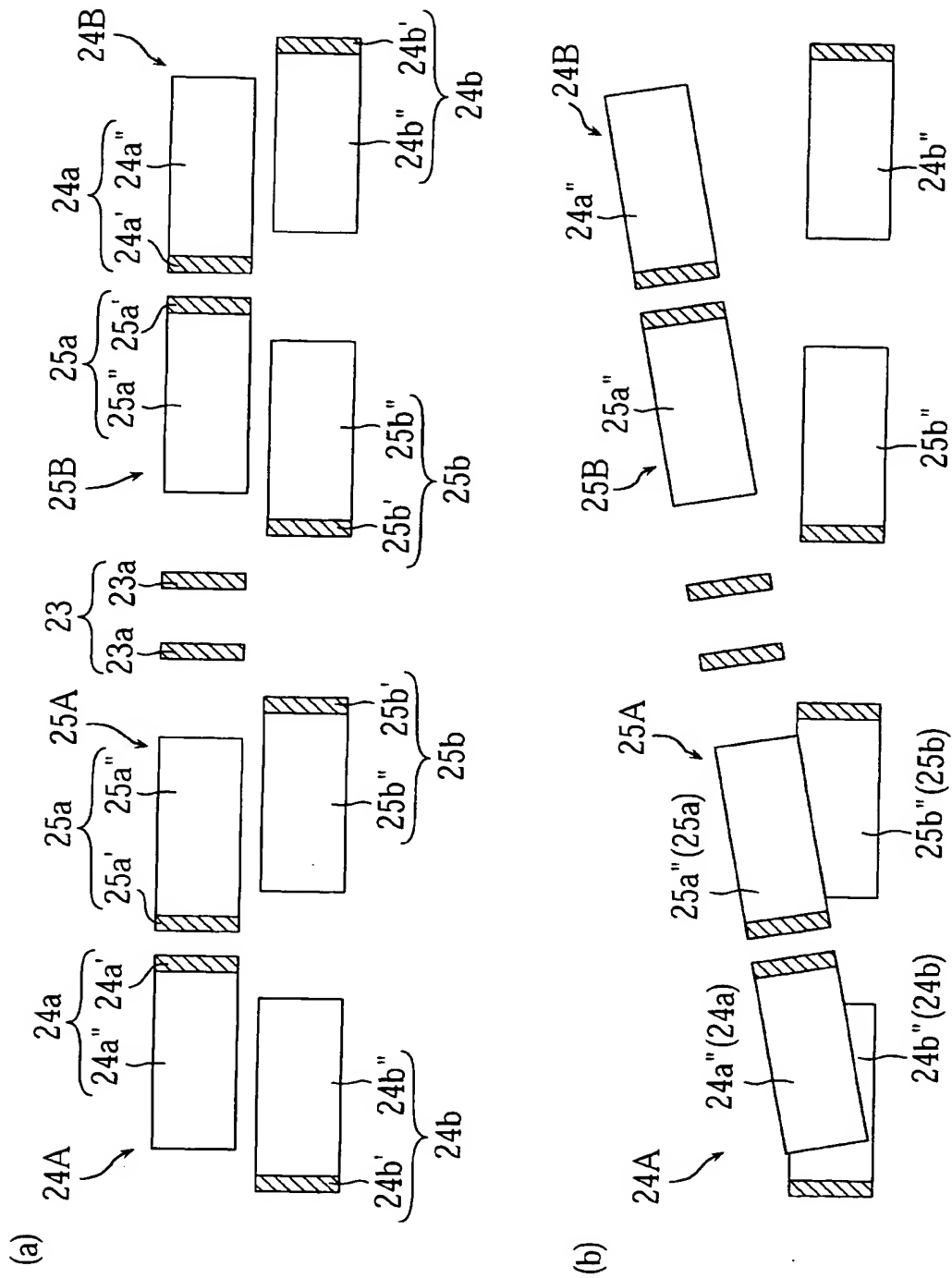
【図 6】

第2の実施形態のマイクロミラー素子



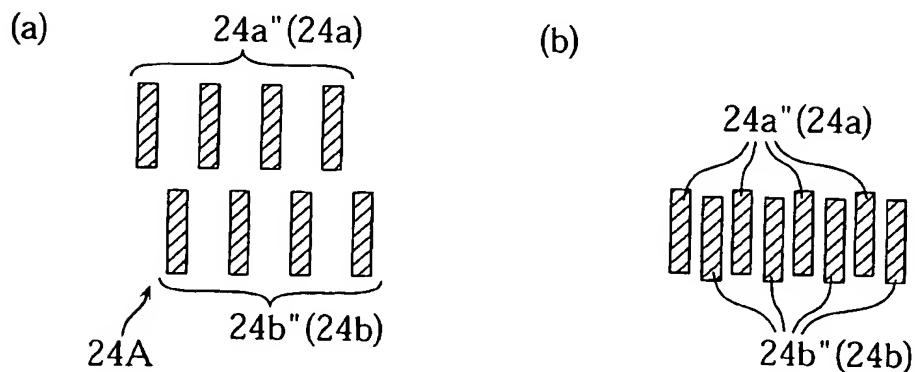
【図 7】

図6の線VII-VIIに沿った断面図



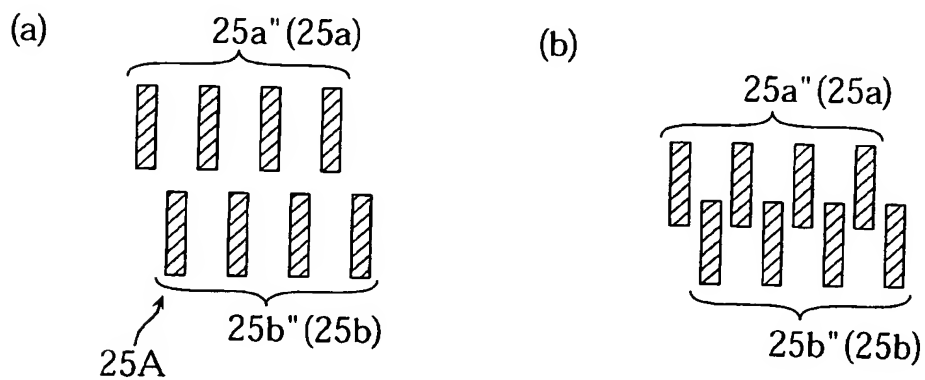
【図 8】

図6の線VIII-VIIIに沿った断面図



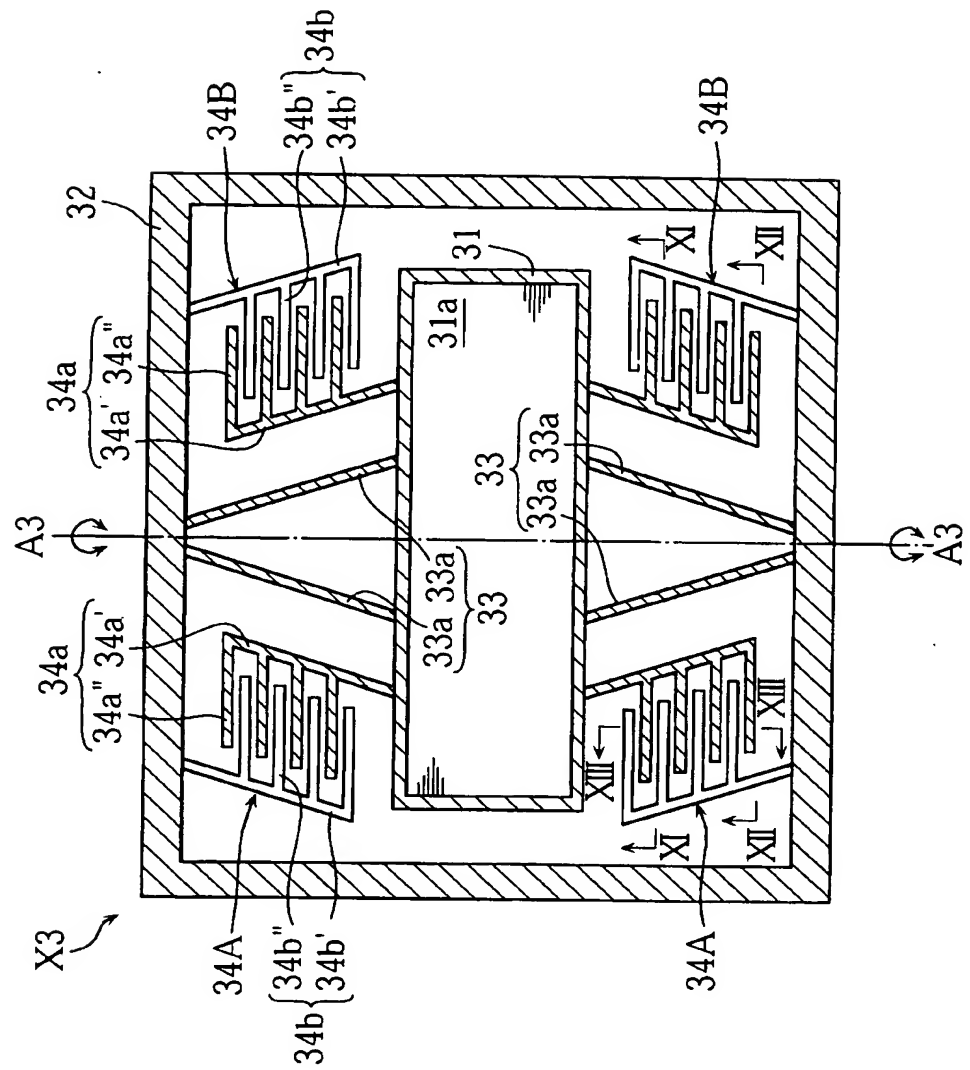
【図 9】

図6の線IX-IXに沿った断面図



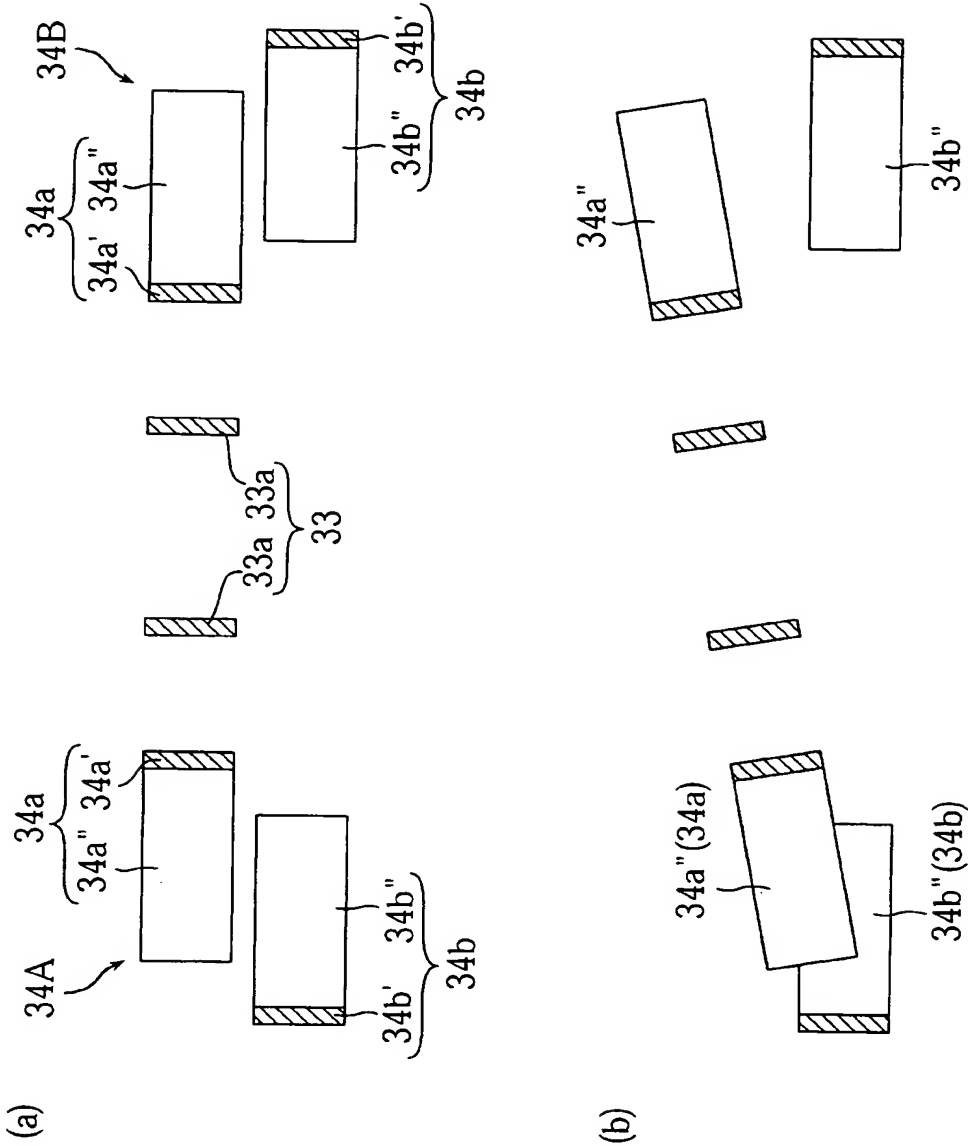
【図10】

第3の実施形態のマイクロラ素子



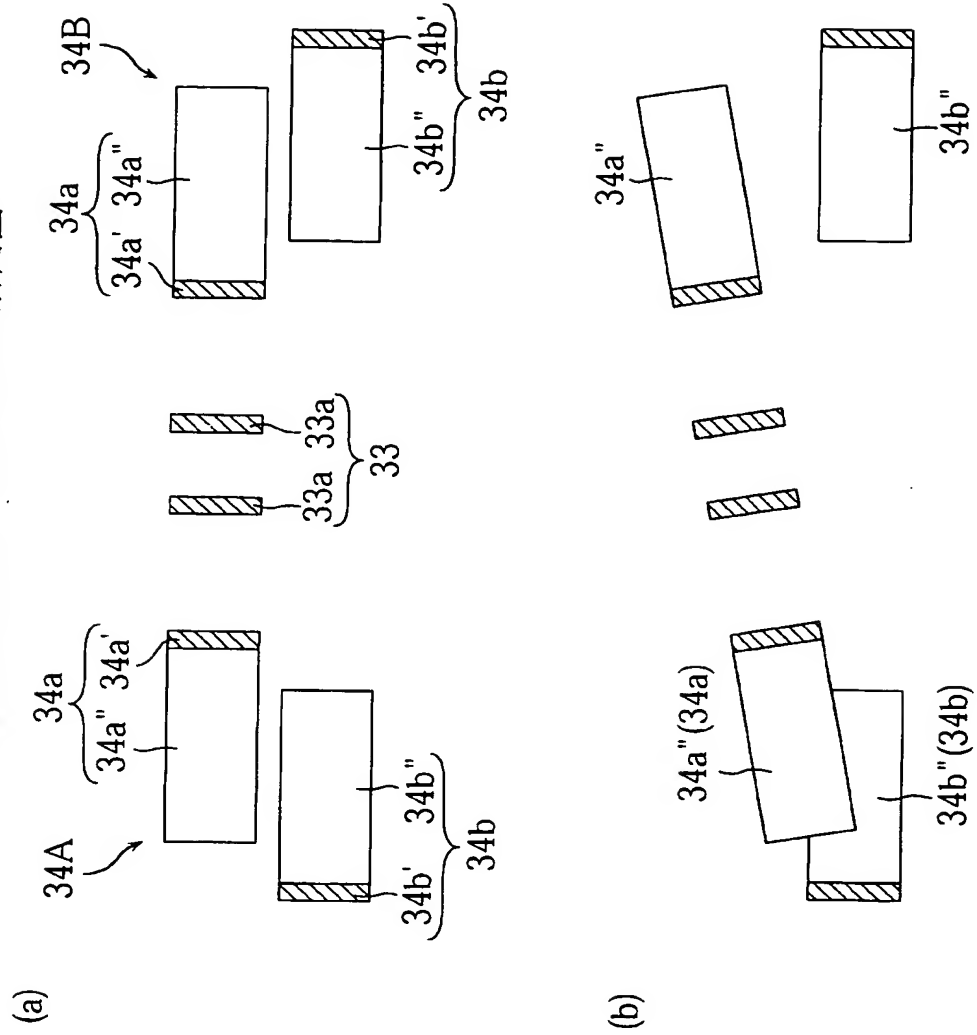
【図 11】

図10の線XI-XIに沿った断面図



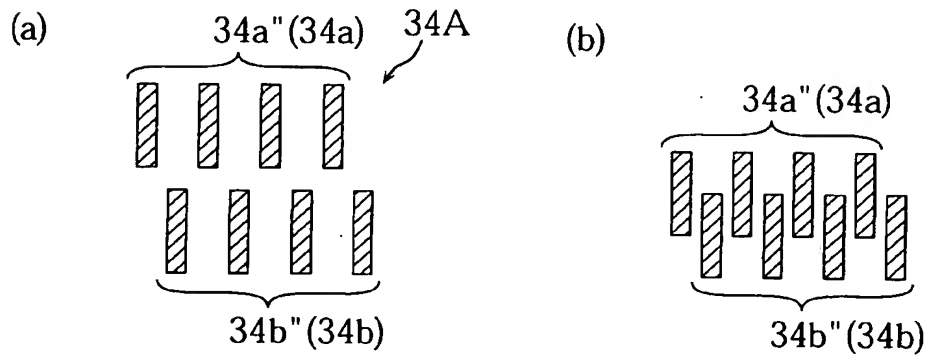
【図 12】

図10の線XII-XIIに沿った断面図



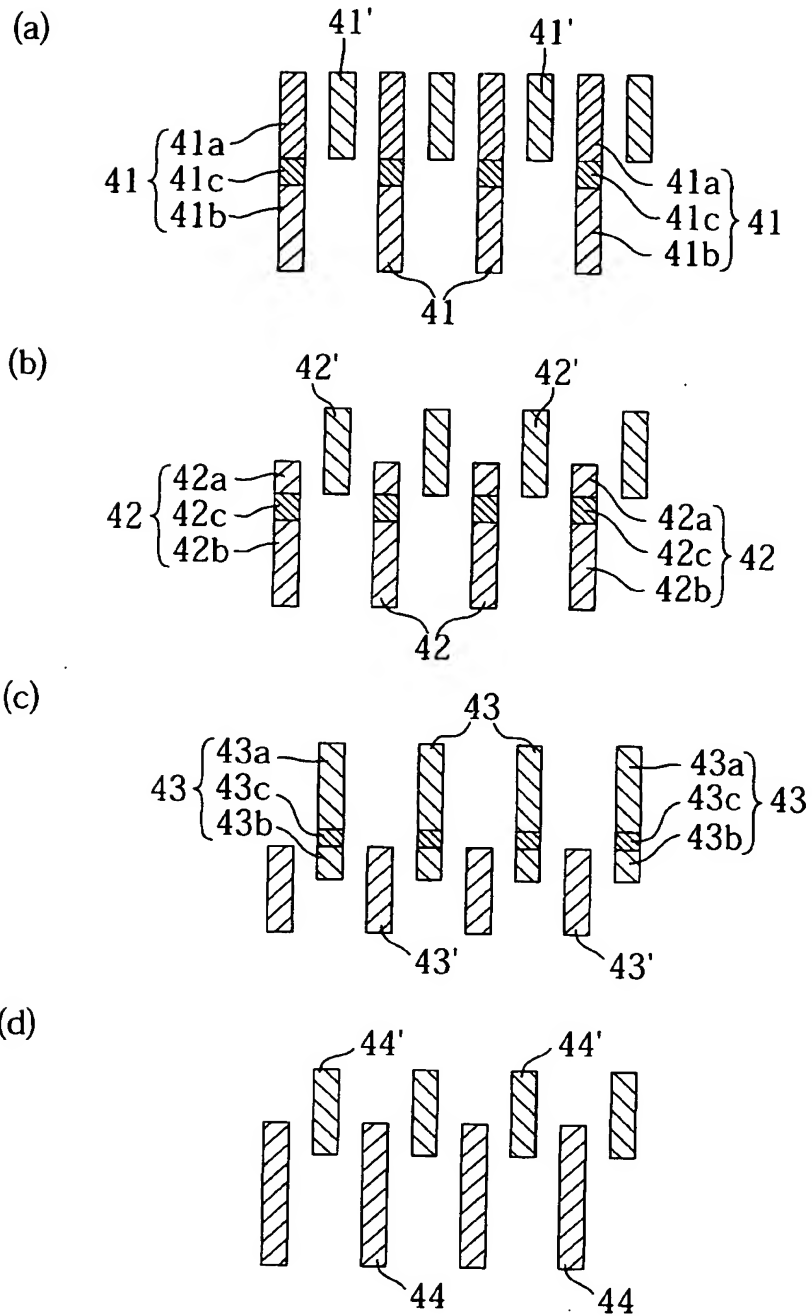
【図 13】

図10の線XIII-XIIIに沿った断面図



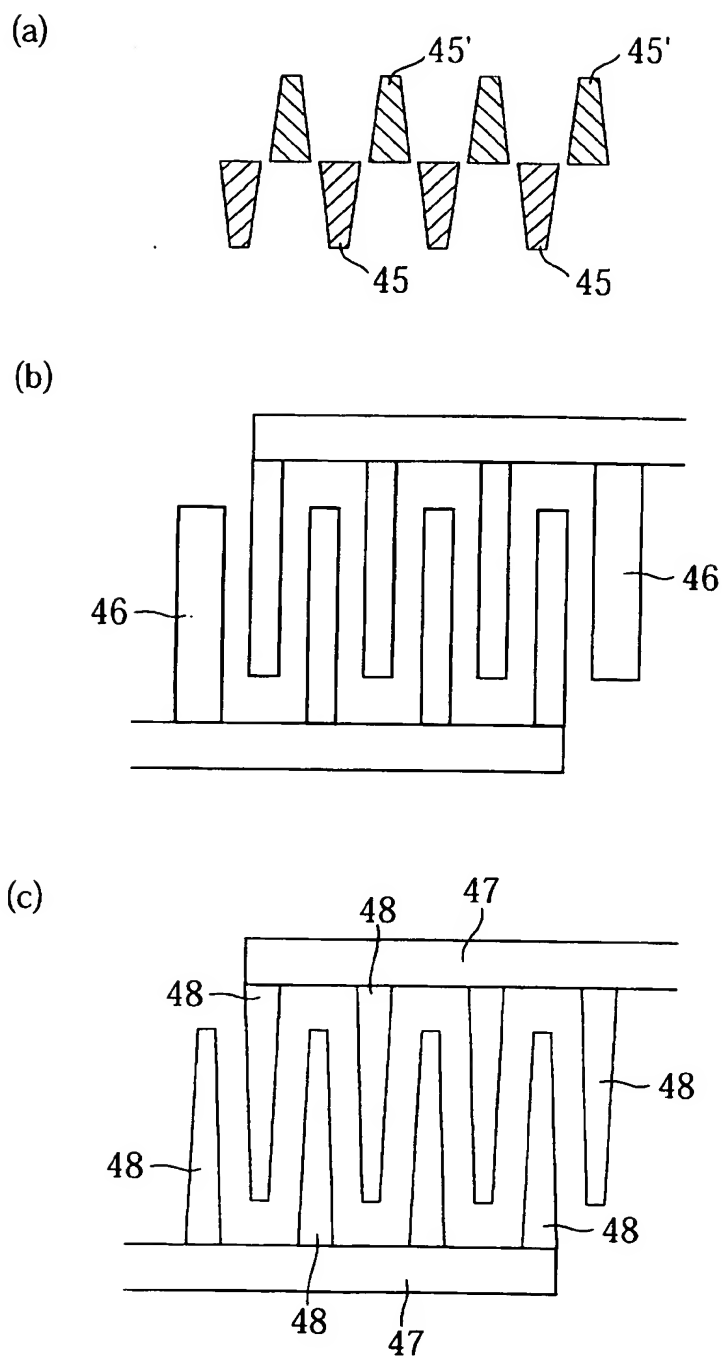
【図 14】

櫛歯電極の変形例



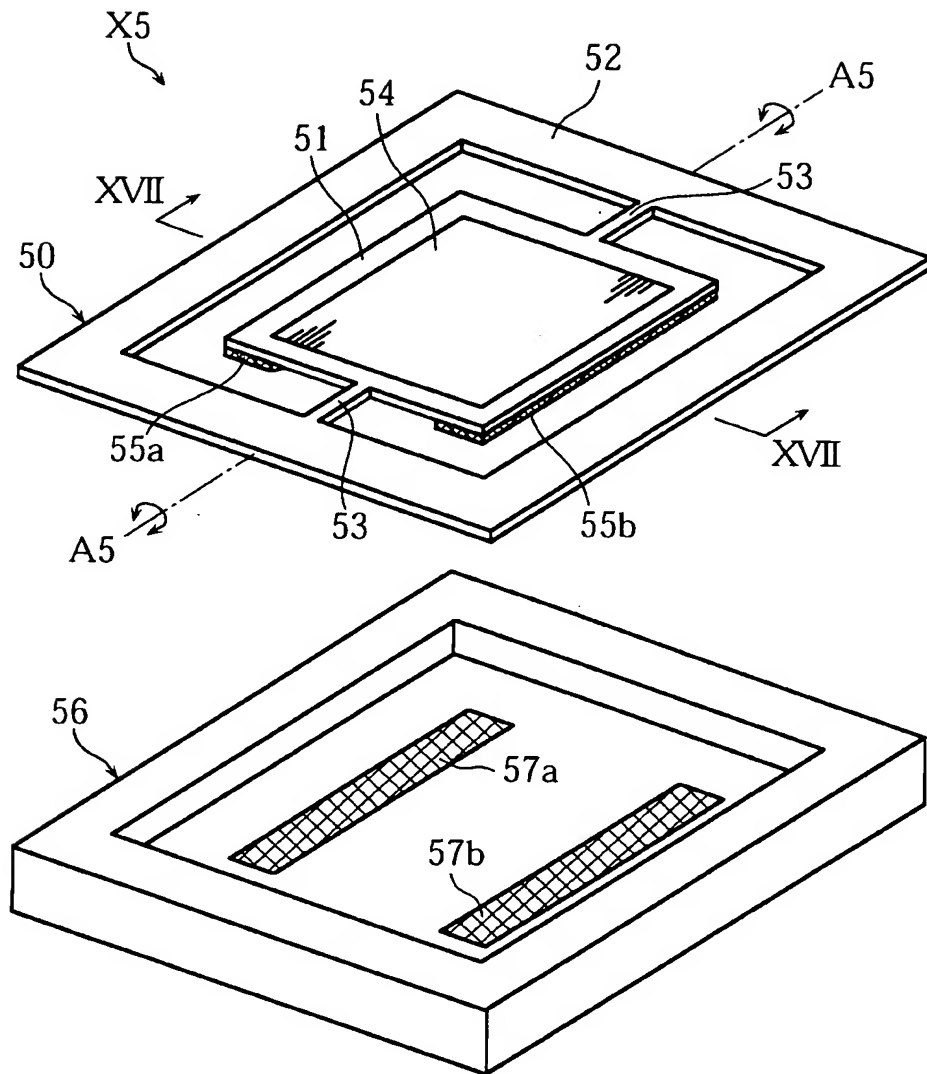
【図 15】

櫛歯電極の変形例



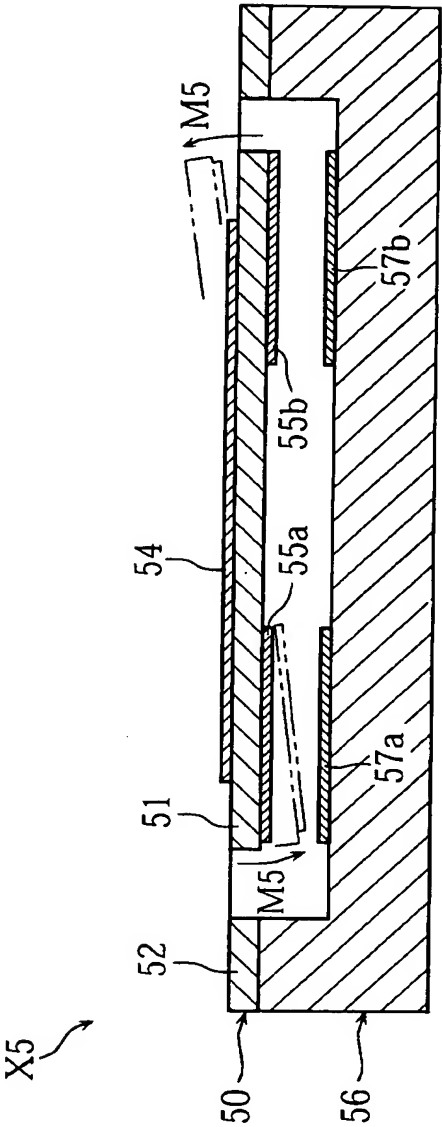
【図16】

従来のマイクロミラー素子



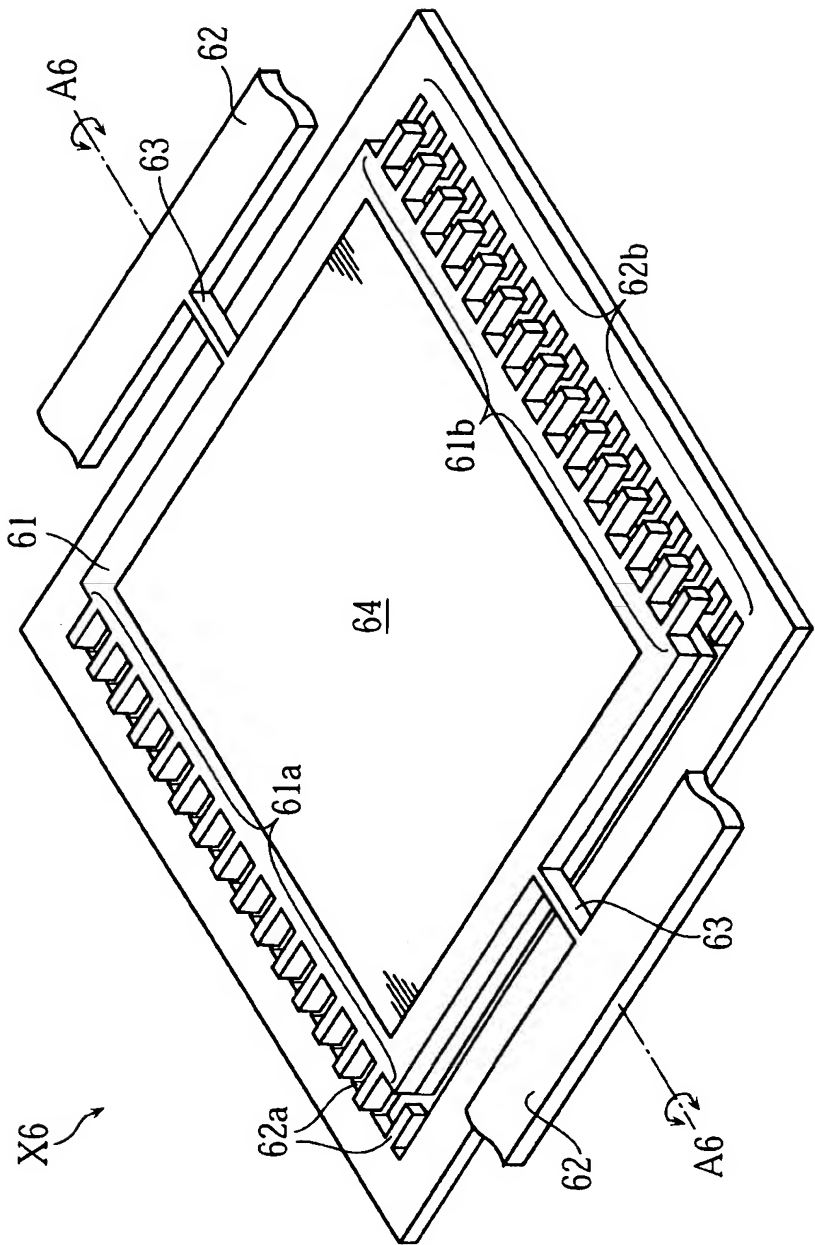
【図 1 7】

組立て状態における図16の線XVII-XVIIに沿った断面図



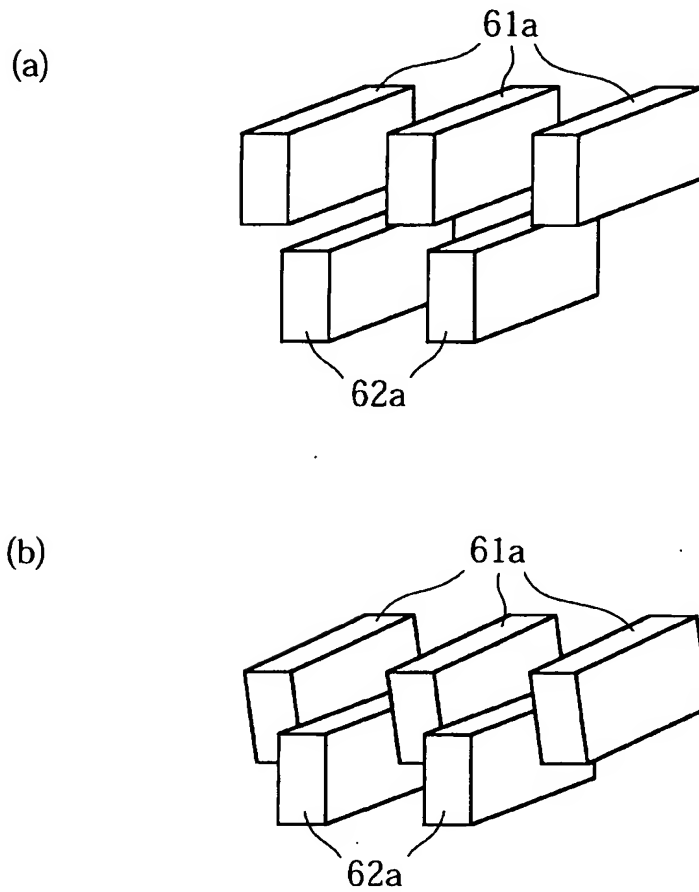
【図 18】

従来の他のマイクロラ素子



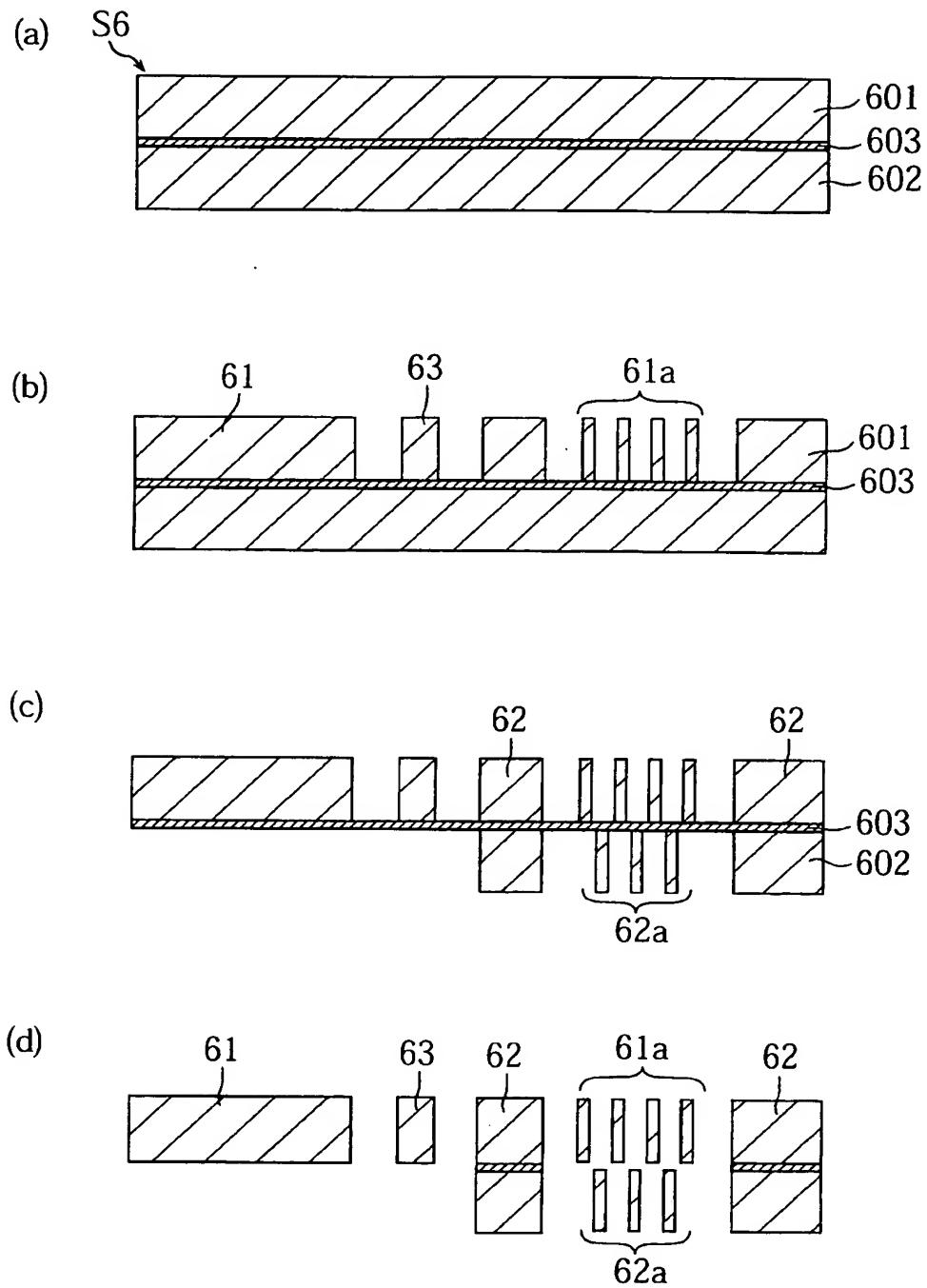
【図 19】

一組の櫛歯電極の配向を表す部分斜視図



【図 20】

従来のマイクロミラー素子製造方法



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 可動部における回転変位量の大きな回転動作を高い動作速度で実現するのに適したマイクロ揺動素子を提供すること。

【解決手段】 本発明は、可動主部 1 1 と、第 1 フレーム 1 2 および第 2 フレーム 1 3 と、可動主部 1 1 および第 1 フレーム 1 2 を連結し且つ第 1 フレーム 1 2 に対する可動主部 1 1 の第 1 回転動作における第 1 回転軸心を規定する第 1 連結部 1 4 と、第 1 フレーム 1 2 および第 2 フレーム 1 3 を連結し且つ第 2 フレーム 1 3 に対する第 1 フレーム 1 2 および可動主部 1 1 の第 2 回転動作における第 2 回転軸心を規定する第 2 連結部 1 5 と、第 1 回転動作の駆動力を発生させるための第 1 駆動機構 1 6 A, 1 6 B と、第 2 回転動作の駆動力を発生させるための第 2 駆動機構 1 7 A, 1 7 B とを備える。第 1 回転軸心および第 2 回転軸心は直交していない。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 2 9 2 5 5 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社

特願 2 0 0 3 - 2 9 2 5 5 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 8 0 6 7 2 7 0]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 5 月 3 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2

氏 名

富士通メディアデバイス株式会社